

KARAKTERISASI FLOWMETER UNTUK LAJU ALIRAN RENDAH PADA SIRKULASI ALAMI DI UNTAI FASSIP-01

Restiya Maulana¹, Mulya Juarsa², Kusigit Susanto³, Joko Prasetyo Witoko⁴

¹Mahasiswa tugas akhir jurusan Teknik Elektro, STT-PLN

Jl. Lingkar Luar Barat, Duri Kosambi, Cengkareng, Jakarta

^{2,3,4}Laboratorium Termohidrolika Eksperimental, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir
Badan Tenaga Nuklir Nasional, Gedung 80 Komplek Puspitek, Serpong

*E-mail : restiyamaulana29@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian sistem keselamatan PLTN masih menjadi topik menarik di dunia, khususnya sistem pendingin pasif. Karena penggunaan sistem pendinginan pasif menjadi sistem keselamatan handal untuk reaktor generasi maju dalam rangka peningkatan teknologi keselamatan mandiri. Sehingga penelitian lebih lanjut terkait sistem keselamatan pasif masih perlu dilakukan untuk memahami fenomena sirkulasi alami menggunakan untai FASSIP-01. Komponen utama untai FASSIP-01 terdiri dari tangki pemanas, tangki pendingin, dan tangki ekspansi. Pengukuran parameter menggunakan termokopel dan *flowmeter* yang digunakan untuk mengukur laju aliran air akibat perbedaan temperatur di dalam *loop*. Selama eksperimen, hasil pengukuran *flowmeter* harus memiliki nilai kesalahan relatif yang kecil untuk memperkuat perbandingan laju aliran air hasil perhitungan. Sehingga tujuan penelitian adalah untuk memperoleh hasil karakterisasi *flowmeter* dengan mengkalibrasi menggunakan pengukuran manual. Metode penelitian dilakukan dengan alat uji aliran rendah berupa tabung pyrex, *ball valve*, gelas ukur, serta *stopwatch*. Pengkalibrasian dilakukan dengan cara pengambilan data laju aliran dengan alat uji aliran rendah yang dibandingkan dengan hasil pengukuran *flowmeter* yang terkoneksi dengan sistem akuisisi data *National Instrument*. Pendekatan regresi juga dilakukan dengan Modul arus NI 9203, kalibrator JOFRA dan *software* Lab view. Selanjutnya dilakukan perbandingan metode teoritis serta metode aktual untuk mengetahui tingkat kesalahan. Sehingga didapat kurva perbandingan hasil karakterisasi dan kalibrasinya. Hasil karakterisasi berdasarkan kalibrasi menunjukkan bahwa pembacaan error rata – rata 6.324% dengan faktor koreksi alat sebesar 0,06324. Sehingga *flowmeter* FLR 1009ST-I ini layak dan siap digunakan.

Kata Kunci : karakterisasi, kalibrasi, aliran rendah, *flowmeter*, sirkulasi alami, FASSIP-01

ABSTRACT

The research about safety systems of nuclear power plants is still be interest topic in the world, especially about the passive cooling system. Because the use of passive cooling system becomes a reliable safety systems for advanced generation reactor in order to improve independent safety technology. So the further research related to passive safety system is needed to do to comprehend the phenomenon of the natural circulation using a strand FASSIP-01. The main components strand FASSIP-01 consists of a heating tank, cooling tanks, and the expansion tank. Parameter measurement using thermocouples and a flowmeter is used to measure the flow rate of water due to temperature differences inside the loop. During the experiment, flowmeter measurement results should have little relatively error to strengthen the water flow rate ratio calculation results. The purpose of the research was to obtain the results of characterization flowmeter to calibrate using manual measurements. The research method with a low-flow test equipment such as pyrex tube, ball valve, measuring cups, and stopwatch. Calibration is done by collecting data flow rates with low flow test equipment are compared with the results of the flowmeter measurement data acquisition system connected with the National Instrument. The regression approach is also done with the NI 9203 module, Jofra calibrators and Lab view. Furthermore, a comparison of theoretical methods and the actual methods to determine the error rate. The comparison of results obtained curve characterization and calibration. Results

showed that characterization based calibration error readings average is 6.324% with instrument correction factor of 0,06324. So that the flowmeter FLR 1009ST-I is fit and ready to use.

Keywords: characterization, calibration, low flow, natural circulation, FASSIP-01

PENDAHULUAN

Kecelakaan pada pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) Fukushima Daichi yang diakibatkan oleh terjadinya *station blackout* karena bencana alam membawa pelajaran akan sistem keselamatan yang lebih baik. Penerapan sistem keselamatan pasif menjadi salah satu jawaban para peneliti untuk menanggulangi hal ini. Sistem keselamatan pasif merupakan sebuah sistem yang memanfaatkan fenomena alam untuk memenuhi salah satu atau lebih dari ketiga hal berikut yakni memadamkan reaktor dengan selamat, mengambil panas peluruhan setelah *shutdown*, serta mengukung zat radioaktif agar tidak terlepas ke lingkungan [1].

Sistem keselamatan pasif bertingkat dan saling berhubungan untuk mengamankan reaktor PLTN. Salah satu bagian dari sistem keselamatan ini adalah *Passive residual heat removing system (PRHRS)*. *Passive residual heat removing system (PRHRS)* menghilangkan panas berlebih reaktor melalui proses pendinginan yang memanfaatkan sirkulasi alami zat cair pada loop tertutup selama operasi maupun panas peluruhan dalam kondisi terjadi kecelakaan. Sirkulasi alami timbul akibat perbedaan kerapatan fluida dan perbedaan ketinggian. Salah satu penyebab terjadinya perbedaan kerapatan adalah perbedaan temperatur. Hasil dari sirkulasi alami adalah penurunan panas pada reaktor PLTN [2].

Karena penggunaan sistem pendinginan pasif menjadi sistem keselamatan handal untuk reaktor generasi maju dalam rangka peningkatan teknologi keselamatan mandiri. Sehingga penelitian lebih lanjut terkait sistem keselamatan pasif masih perlu dilakukan. Untuk memahami fenomena sirkulasi alami menggunakan untai FASSIP-01. Komponen utama untai FASSIP-01 terdiri dari tangki pemanas, tangki pendingin, dan tangki ekspansi. Pengukuran parameter menggunakan termokopel untuk suhu dan *flowmeter* yang digunakan untuk mengukur laju aliran air akibat perbedaan temperatur di

dalam *loop*. Penelitian berlangsung di laboratorium Termohidrolika, Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN), Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN).

Dalam studi eksperimental. Alat pengukuran laju aliran air *flowmeter* menjadi point penting untuk memperkuat perbandingan laju aliran air hasil perhitungan. Karena itu alat pengukuran *flowmeter* harus memiliki kesalahan relatif yang kecil. Sehingga tujuan penelitian adalah untuk memperoleh hasil karakterisasi flowmeter dengan mengkalibrasi menggunakan pengukuran manual.

TEORI

Dasar Pengukuran *flowmeter*

Semakin berkembangnya kebutuhan pengukuran khususnya dibidang aliran fluida mendorong semakin meningkatnya kebutuhan jenis instrument ukur serta kebutuhan laboratorium uji dan kalibrasi yang lebih optimal. Pengukuran (*measurement*) merupakan seperangkat kegiatan untuk menentukan kuantitas obyek. Mengukur adalah suatu proses *empiric* dan obyektif pada sifat-sifat obyek maupun kejadian nyata. Sehingga angka dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai obyek maupun kejadian.. Kalibrasi (*calibration*) adalah kegiatan untuk menentukan kebenaran konvensional nilai penunjukan alat ukur dengan cara membandingkan terhadap standar ukurnya (yang telah diketahui nilainya) yang mampu tertelusur (*tractable*) ke standar nasional untuk satuan ukur ataupun standar internasional [3]

Pada penelitian ini. Pengukuran dan kalibrasi dapat dilakukan dengan memonitoring keluaran arus, sehingga dapat diketahui nilai laju aliran air. Untuk mendapatkan persamaan konversi arus listrik ke aliran *flow rate* dengan rentang keluaran arus yang diberikan adalah 4-20 mA dan *flow rate* 0-500 ml/menit.

Dengan rentangan tersebut, maka didapat persamaan

$$Q = \frac{Q_{max}}{I_{maks} - I_{min}} \times I$$

(1)

Dengan :

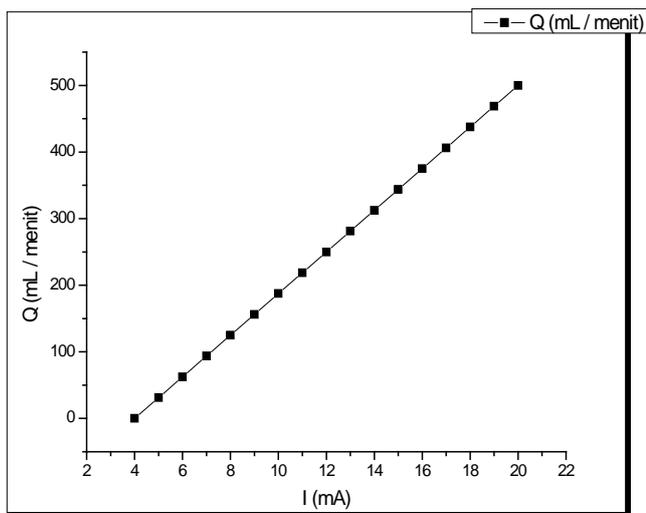
Q = Debit aliran air

Q_{max} = Debit pembacaan aliran air maksimal (500 ml per menit)

I = Arus listrik (mA)

I_{maks} = Arus listrik maksimal (20 mA)I_{min} = Arus listrik minimal (4 mA).

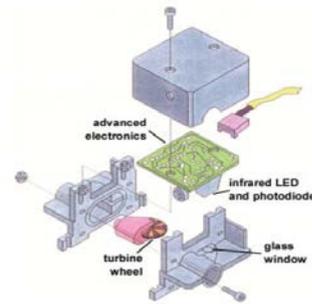
Berikut merupakan gambaran grafik konversi arus dengan debit air dari hasil perhitungan [4].



Gambar 1. Grafik konversi arus ke debit

Gambar 1 diatas menjelaskan tentang konversi arus (mA) kedalam satuan debit Q (ml/menit). Dimana 4mA sama dengan 0 ml/menit, dan 20mA sama dengan 500 ml/menit.

Prinsip Kerja *flowmeter* FLR 1009ST-I

Gambar 2. Bagian *flowmeter* FLR 1009ST-I [4]

Flowmeter FLR 1009ST-I merupakan salah satu hasil pengembangan *flowmeter velocity* turbin dengan adanya *turbine wheel* di dalam rangkaian *turbine wheel* diatur sedemikian rupa sehingga roda berputar dengan kecepatan yang sebanding dengan laju aliran. *turbine wheel* memiliki bagian hitam dan putih. Hal ini dimaksudkan untuk pembacaan dari sinar *infrared* yang diarahkan. Sinar akan tercermin di setiap bagian putih *turbine wheel*. Sinar yang dipantulkan terdeteksi oleh phototransistor yang mengubah refleksi menjadi arus listrik. Rentang keluaran arus yang diberikan adalah 4-20 mA. Bagian *Processing circuit* menyediakan keluaran yang dapat berupa pulsa, arus, maupun tegangan. Dalam pembahasan ini kalibrasi dan karakterisasi difokuskan dengan hasil pengukuran konversi arus pada *flowmeter* jenis FLR FLR1009ST-I [4].

METODOLOGI

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan untuk mendukung penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Flowmeter FLR1009ST-I
2. Kalibrator JOFRA
3. CDAQ NI 9203
4. GelasUkur

Bahan yang digunakan untuk mendukung penelitian adalah:

1. Tube SS ¼
2. Tube SS 3/8
3. Ballvalve
4. Busur Derajat
5. Tabung Phyrex

Karakterisasi Flowmeter untuk Laju Aliran Rendah pada Sirkulasi Alami di Untai FASSIP-01 dilakukan dengan serangkaian kegiatan sebagai berikut :

1. Pembuatan serta karakterisasi alat uji laju aliran rendah

Tujuannya adalah untuk mengkondisikan laju aliran sesuai dengan kebutuhan penelitian, dan memastikan *flowmeter* tidak dialiri oleh aliran dengan spesifikasi di atas kemampuan alat.

2. Pengukuran DAS *National Instrument* dengan kalibrator JOFRA

Tujuan pengukuran adalah mendapatkan persamaan regresi valid dari hasil pengukuran yang dibaca untuk pemrograman pada LAB VIEW.

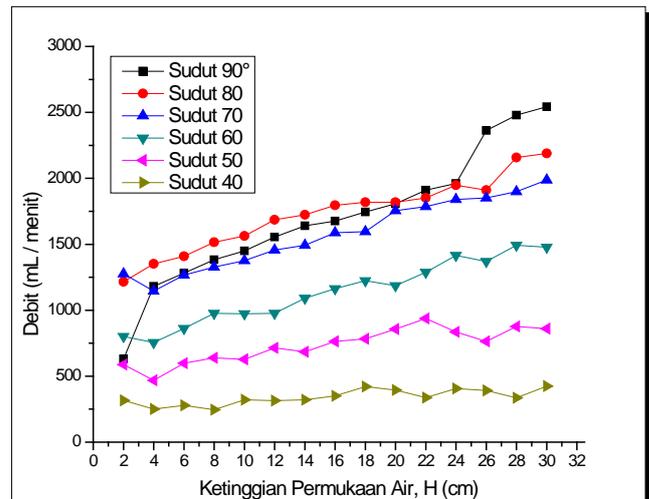
3. Pengujian

Tujuan pengujian adalah untuk membandingkan pengukuran manual dengan pengukuran yang terbaca pada DAS NI yang telah tervalidasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakterisasi alat uji aliran rendah

Sebagai alat pendukung untuk kalibrasi dan karakterisasi *Flowmeter*. Alat uji aliran rendah perlu dikarakterisasi terlebih dahulu. Karakterisasi ini bertujuan untuk mengkondisikan laju aliran sesuai dengan kebutuhan penelitian, dan memastikan *flowmeter* tidak dialiri oleh aliran dengan spesifikasi di atas kemampuan alat. (Dalam pengujian *Flowmeter* jenis FLR1009ST-I, maksimal laju aliran adalah 500 mL per menit.)



Gambar 3. Karakterisasi Alat Uji Aliran Rendah

Dari data hasil karakterisasi alat uji aliran rendah dengan memvariasikan ketinggian serta sudut buka *ballvalve*. Didapat bahwa trend aliran terus meningkat sesuai dengan pembukaan sudut *ballvalve* dan level ketinggian air. Hal ini sesuai dengan konsep fluida bahwa:

$$Q = v \times A$$

(2)

$$v = \sqrt{2gh}$$

(3)

Dengan

Q = debit air (ml/menit)

v = kecepatan aliran (m/s)

A = Luas penampang (m²)

g = gravitasi bumi (m/s²)

h = ketinggian (m)

Dalam pengujian *Flowmeter* jenis FLR1009ST-I yang memiliki spesifikasi pembacaan laju aliran maksimal 500 mL per menit dengan keluaran pipa 3/8 inci pembukaan maksimal adalah 40° dan ketinggian level air bisa sampai 30 cm. Untuk memudahkan pengujian dan memperkecil

kemungkinan kesalahan *human error*. Pengondisian kembali dilakukan. Dengan luas penampang yang disesuaikan agar pembukaan ballvalve bisa dilakukan total (90°). Sesuai dengan konsep teori fluida yang telah dirumuskan diatas bahwa $Q = v \times A$. Maka A (luas penampang) keluaran dikecilkan menjadi ¼ inchi. Hasilnya pembukaan ballvalve dapat dibuka total dengan ketinggian level air 60cm dan pembacaan flow 200 ml per menit. Sehingga disimpulkan alat uji aliran rendah siap digunakan untuk pengujian flowmeter FLR1009ST-I.

Pengukuran DAS NI dengan kalibrator JOFRA

Karakterisasi flow meter FLR 1009ST-I dilakukan dengan membandingkan metoda teoritis dan pengukuran langsung. Pengkarakterisasian menggunakan DAS-NI dengan kalibrator JOFRA. DAS-NI merupakan sebuah sistem akuisisi data pengukuran berbasis komputerisasi dengan jenis masukan tegangan atau arus. Dalam kasus pengkarakterisasian ini masukan yang digunakan adalah arus. Karena keluaran flowmeter FLR1009ST-I yang diambil adalah berupa arus. Dengan nilai arus 4-20 mA dan keluaran flow rate 0 – 500 ml per menit.

Untuk mendapatkan persamaan linier dengan dua data atau titik yang diketahui dapat menggunakan formula:

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}$$

(4)

dengan hasil akhir dalam bentuk $y = mx + c$.

Sehingga

$$\frac{y - 0}{500 - 0} = \frac{x - 4}{20 - 4}$$

$$y = 31,25x - 125$$

(5)

Berdasarkan hasil perhitungan ini maka secara teori diperoleh formulasi karakterisasi

flowmeter sebagai debit keluaran $Q = 31250 - 125$. Formula inilah yang menjadi masukan awal pada program Labview dalam program data akuisisi.

Validasi dilakukan dengan kondisi tanpa aliran dan formula awal yakni $Q = 31250 - 125$. Hasil yang terbaca adalah

Regresi		Pembacaan Pada LabView	
x	Konstanta	Min (ml/menit)	Max (ml/menit)
31250	125	3.89	4.31

Dari hasil terlihat bahwa dengan formula awal $y = 31250 - 125$ pembacaan rata-rata pada data akuisisi sistem program lab view tidak 0 melainkan ada pada level 3,89 – 4,31 ml/menit. Sesuai dengan tujuan untuk mendapatkan pengukuran aliran rendah yang optimal pengambilan konstanta secara manual dilakukan dan dibandingkan dengan hasil perhitungan dari pembacaan pada JOFRA.

Melalui pembacaan JOFRA didapat

I (mA)	Q (ml/menit)
4,1297	0
20,1297	500

Sehingga

$$\frac{y - 0}{500 - 0} = \frac{x - 4,1297}{16}$$

$$y = 31,25 - 129,05$$

(6)

Melalui pengujian manual didapat dengan regresi $y = 31250x - 129,05$ (rata-rata pembacaan 0 ml/menit).

Dari hasil ini didapat bahwa sesuai dengan perhitungan dari pembacaan JOFRA serta pengambilan data konstanta secara manual adalah sama. Sehingga untuk formulasi regresi perhitungan konversi flowmeter yang valid adalah $y = 31250x - 129,05$. Dengan y adalah debit air (ml/menit) dan x merupakan formula arus (mA).

Dari hasil ini dapat dianalisa bahwa adanya perbedaan regresi awal metode teoritis dengan metode pengambilan manual disebabkan oleh faktor arus keluaran pada *flowmeter* jenis FLR1009ST-I tidak tepat sama dengan 4,0 mA melainkan 4,1297 mA. Sehingga berpengaruh pada formula yang ditetapkan.

mendapatkan faktor koreksi alat dengan membandingkan nilai pengukuran manual dan nilai pengukuran FLR 1009ST-I yang terkoneksi dengan DAS NI. Dengan demikian didapatkan hasil nilai error rata-rata alat dengan persamaan .

$$\text{error} = \frac{\text{nilai pengukuran manual} - \text{nilai pengukuran FLR1009ST-I}}{\text{nilai pengukuran manual}} \times 100\% \quad (7)$$

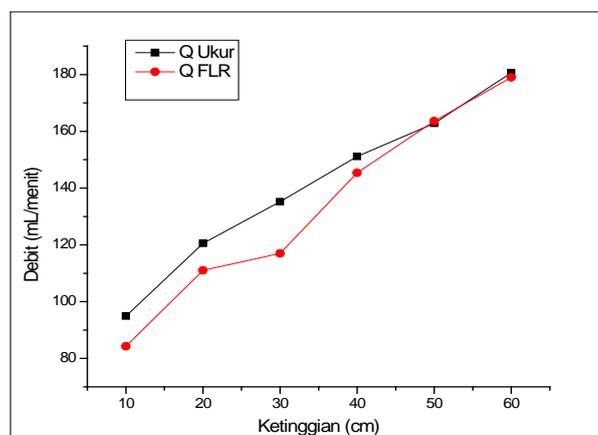
PENGUJIAN

Setelah pemrograman serta formulasi didapat sehingga pengkalibrasian telah tervalidasi. Pada tahap pengujian dilakukan perhitungan nilai kesalahan error relatif untuk

Berikut adalah data hasil pengujian

Tabel 1. Data Pengujian Perbandingan Q ukur manual dengan Q FLR pada DAS NI

No	Tinggi air (cm)	Q Ukur rata2 (mL/menit)	Q FLR rata2 (mL/menit)	Rata2 Error (%)
1	60	180.625	178.9666667	0.941196
2	50	162.797	163.5666667	0.468375
3	40	151.16	145.3666667	6.300904
4	30	135.226	117	13.71306
5	20	120.5006667	111	13.09538
6	10	94.90666667	84.27333333	15.01848
Total rata-rata error alat				6.324



Gambar 4. Perbandingan Q pengukuran manual dengan Q ukur FLR pada DAS NI

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa laju aliran secara eksperimen dan hasil laju aliran yang terbaca oleh FLR1009ST-I memiliki trend linearitas yang hampir sama. Namun memiliki kemiringan yang sedikit berbeda. Kemiringan yang sedikit berbeda ini menunjukkan nilai kesalahan relatif alat pengukuran antara keduanya. Nilai kesalahan relatif ini merupakan nilai kesalahan relatif pengukuran *flowmeter* FLR1009ST-I. Dari hasil diatas maka didapat rata- rata kesalahan relatif alat sebesar 6,325 % dan dapat ditetapkan bahwa faktor koreksi alat adalah 0,06235.

KESIMPULAN

Karakterisasi dengan cara kalibrasi FLR 1009ST-I telah berhasil dilakukan. karakterisasi regresi valid adalah $y = 31250x - 129,05$ dengan y = debit aliran dan x = formula arus. Selain itu didapat bahwa alat memiliki kesalahan relatif sebesar 6,325 % dan faktor koreksi 0,06235. Sehingga dengan didapatnya nilai – nilai tersebut *flowmeter* FLR 1009ST-I layak dan siap untuk digunakan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada staf Laboratorium Termohidrolika PTKRN BATAN dan teman teman Teknik Mesin Universitas Ibnu Khaldun Bogor serta Teknik Mesin Universitas Udayana Bali yang telah membantu dalam pelaksanaan eksperimen dalam makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Syamsi, Nur Syam. dan Septilarso, Anggoro. 2011. Prosiding pertemuan ilmiah XXV HFI Jateng & DIY. “*Aplikasi Sistem Keselamatan Pasif Pada Reaktor Nuklir*”, Yogyakarta
- LEE, W. J. 2010. “*The SMART Reactor*”, 4th Annual Asian-Pacific Nuclear Energy Forum, KAERI.
- Rochmanto,Budi. 2010. “*Pendekatan Metode Kalibrasi flowmeter dan Analisis Perbandingan Dalam Perhitungan Aliran*”, Depok.
- User’s Guide FLR1000/1000BR/1000ST Series Flow Sensors & Meters For Liquids OMEGA.*