
ANALISIS DEVIASI ALAT UKUR LAJU ALIRAN PADA UNTAI FASSIP-01 DAN FASSIP-02

Try Hutomo Putra¹, Giarno², Sumantri Hatmoko², G.B. Heru K², Mulya Juarsa^{2,*}

¹Mahasiswa Departemen Fisika, FMIPA Universitas Padjadjaran, Bandung
Kampus UNPAD, Jatinangor, Sumedang 45363

²Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir Badan Tenaga Nuklir Nasional
Gedung 80 Kawasan PUSPIPTK, Setu, Tangerang Selatan 15310

*email: juars@batan.go.id

ABSTRAK

ANALISIS DEVIASI ALAT UKUR LAJU ALIRAN PADA UNTAI FASSIP-01 DAN FASSIP-02.

Pengembangan sistem keselamatan pasif dengan mengandalkan kerja *natural circulation* menggunakan Untai uji FASSIP-01 dan FASSIP-02 memerlukan alat ukur dengan spesifikasi laju aliran rendah. Salah satu jenis alat ukur pendingin adalah *Ultrasonic Flowmeter* TUF-2000M (US-FM) yang perlu dipersiapkan untuk penggunaan pada eksperimen sistem keselamatan pasif. Tujuan penelitian adalah untuk menentukan deviasi pengukuran laju aliran antara US-FM dengan alat ukur lainnya. Eksperimen dilakukan dengan mengukur laju aliran pada Untai uji BETA menggunakan *flowmeter* tersebut dengan konfigurasi laju alir yang berbeda yaitu 0 - 100 LPM, 0 - 50 LPM dan 0 - 20 LPM. Hasil perbandingan pengukuran pada sensor elektromagnetik didapat nilai deviasi 6,32 % untuk konfigurasi 0 - 100 LPM, 2,12 % untuk konfigurasi 0 - 50 LPM, dan 1,16 % untuk konfigurasi 0 - 20 LPM. Data untuk melakukan karakterisasi dapat diperoleh pula ketika mengukur laju aliran dengan membaca nilai arus yang bekerja pada sensor pada *flowmeter*. Dari hasil karakteristik linear terhadap semua *flowmeter* tersebut terlihat bahwa semakin rendah formasi pengukuran maka diperoleh nilai deviasi juga semakin kecil.

Kata kunci : sistem pendingin pasif, alat ukur laju aliran, deviasi, FASSIP-01, FASSIP-02

ABSTRACT

ANALYSIS ON THE DEVIATION OF FLOW RATE DEVICE IN THE FASSIP-01 AND FASSIP-02

TEST LOOP. *The development of a passive safety system that relies on natural circulation using the FASSIP-01 and the FASSIP-02 test loop requires a measuring device with a low flow rate specification. One of such flow meters is the Ultrasonic Flowmeter TUF-2000M (US-FM) which needs to be prepared for conducting experiments in the passive safety system. The purpose of this work is to determine the deviation of the flow rate measurement between US-FM and other measuring instruments. The experiment was carried out by measuring the flow rate in the BETA test loop using the flowmeter with different flow rate, which are 0 - 100 LPM, 0 - 50 LPM and 0 - 20 LPM. The comparison of measurements on electromagnetic sensors results in a deviation value of 6.32 % for configurations of 0 - 100 LPM, 2.12 % for configurations 0 - 50 LPM, and 1.16 % for configurations 0-20 LPM. Data for characterization can also be obtained when measuring the flow rate by reading the current value that works on the sensor loop on the flow meter display. From the linear characteristics of all flow meters, it shows that the lower of formation of the measurement the lesser is the deviation.*

Keywords: passive cooling system, flow rate device, deviation, FASSIP-01, FASSIP-02

PENDAHULUAN

Pembangunan PLTN di Indonesia masih belum terwujud karena banyak menuai pro dan kontra. Sebenarnya Indonesia memiliki 3 reaktor, namun sampai saat ini hanya berfungsi sebagai reaktor riset yang berada di Bandung, Serpong dan Yogyakarta yang dikelola oleh BATAN. Adanya PLTN masih menjadi momok bagi sebagian warga, ditambah dengan kecelakaan reaktor Fukushima Daiichi pada tahun 2011 yang disebabkan oleh gempa dengan kekuatan 9 Skala Richter (SR), dan tsunami dengan ketinggian 14-15 meter. Keadaan tersebut terus menjadikan reaktor tidak kunjung mendingin karena sistem pendingin aktif (pompa sirkulasi) padam akibat generator yang terendam oleh tsunami dan akhirnya menyebabkan lelehnya teras reaktor. Kondisi tersebut memicu terlepasnya material radioaktif ke lingkungan setelah terjadinya ledakan gas Hidrogen yang diakibatkan kelongsong (*cladding*) bahan bakar gosong (*burn-out*) dan bereaksi dengan air sehingga membentuk gas Hidrogen lalu gas Hidrogen tersebut bereaksi dengan Oksigen dan menimbulkan ledakan^[1]. Kejadian tersebut menyebabkan trauma psikis bagi warga Fukushima dan juga menyebabkan penolakan masyarakat Indonesia terhadap pembangunan PLTN semakin menjadi-jadi.

Kecelakaan yang terjadi di Fukushima itu membuat para peneliti di seluruh penjuru dunia mengembangkan teknologi sistem pendingin pasif (*passive cooling system*) agar dapat membantu mendinginkan reaktor yang panas karena sisa peluruhan (*decay heat*) ketika sistem aktif mati. Oleh karena itu penelitian ini menunjang penelitian – penelitian lainnya terkait sistem pendingin pasif pada reaktor nuklir. Terdapat dua jenis fasilitas penelitian untuk simulasi sistem pendingin pasif yang sedang dikembangkan yaitu untai uji FASSIP-01 dan FASSIP-02. FASSIP (Fasilitas Simulasi Sistem Pasif) dikembangkan di Laboratorium Termohidrolik Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir di Serpong^[2,3].

Kegiatan penelitian yang dilakukan adalah untuk memahami fenomena aliran sirkulasi alam (*natural circulation*) pada model sistem pendingin pasif baik dari untai uji FASSIP-01 dan FASSIP-02 yang memerlukan kehandalan sistem pengukur laju aliran. Terdapat empat jenis model alat ukur laju aliran yang telah ada di laboratorium termohidrolika, yaitu model kincir (*wheel*), elektromagnetik, magnetik dan ultrasonik. Masing-masing alat ukur aliran tersebut memerlukan karakterisasi, kalibrasi dan penentuan nilai deviasi dimana hasil pengukurannya akan digunakan untuk

memperkuat hasil perhitungan berdasarkan data eksperimen. Sehingga, penelitian ini difokuskan pada penentuan nilai deviasi dari masing-masing alat ukuran aliran tersebut.

TEORI

Untai uji FASSIP-01 dan FASSIP-02 adalah fasilitas untuk eksperimen sistem pendingin pasif yang berdasarkan pada fenomena *natural circulation* (sirkulasi alam). Sirkulasi alam merupakan proses perputaran fluida secara kontinyu dan tanpa adanya energi dari luar. Sirkulasi alam didasari oleh gaya *bouyancy* dan gaya gravitasi. Suatu fluida yang dipanaskan pada temperatur tertentu maka akan mengalami kenaikan temperatur dan kemudian akan mengalami gaya *bouyancy* atau gaya apung ke atas (menuju ke pendingin) dikarenakan rapat massanya menjadi lebih kecil daripada rapat massa semula. Uap air tersebut mengalir, namun semakin lama temperaturnya mulai turun karena tidak mendapat panas dan kemudian masuk ke pendingin, disini uap air tersebut mengalami kondensasi, sehingga titik uap air tersebut kembali menjadi air dengan rapat massa yang lebih berat, dengan demikian air turun kebawah dengan gaya gravitasi lalu masuk ke sistem pemanas lagi, begitu seterusnya [4]. Studi awal tentang pola aliran seperti itu, dimulai dengan analisis Reyleigh yang mana membahas mengenai stabilitas cairan ketika

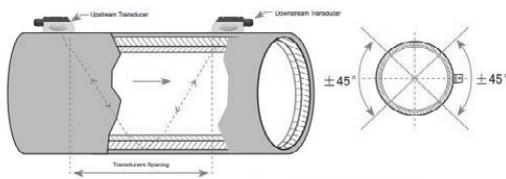
cairan berhenti sejenak dan mulai bergerak karena gradien garis suhu ke arah gaya tubuh [5]. Pergerakan aliran pada untaian uji FASSIP-01 dan FASSIP-02 terdapat dua gaya yang berperan pada saat adanya aliran yaitu gaya apung atau gaya ke atas dan gaya gravitasi. Gaya apung adalah gaya dari fluida yang terjadi karena mengalami perubahan massa jenis dari benda atau pun partikel fluida sehingga massa jenisnya menjadi semakin kecil dan menyebabkan ada gaya keatas. Gaya gravitasi yaitu sebuah gaya yang mengarah ke pusat bumi atau ke bawah yang diakibatkan oleh benda yang bermassa yang tertarik oleh massa bumi [6]. Tentu saja ada parameter yang harus diperhatikan saat menghitung laju aliran didalam pipa pada untaian uji FASSIP-02. Berikut ini rumus yang digunakan untuk menghitung laju aliran pada untaian uji FASSIP-01 dan FASSIP-02 [7].

$$v = \frac{-64\mu L \pm \sqrt{64\mu L^2 + 8gHK\rho(\rho_c - \rho_h)D^4}}{2\rho KD^2} \dots\dots\dots (1)$$

Dengan v (m/s) adalah laju aliran, μ (kg/m.s) adalah viskositas air, L adalah total panjang pipa, g (m/s²) adalah percepatan gravitasi bumi, H (m) adalah perbedaan ketinggian WCT dan WHT , K adalah *loss coefficient*, ρ (kg/m³) adalah rapat massa fluida, dan D (m) adalah diameter pipa.

Selain dengan menggunakan estimasi, laju aliran dapat diukur dengan menggunakan sensor, mulai dengan menggunakan sensor turbin (*wheel*),

elektromagnetik, magnetik, ultrasonik, dan juga masih banyak yang lainnya. Pada penelitian ini digunakan sensor ultrasonik. Prinsipnya adalah mendeteksi frekuensi atau pergeseran fasa yang disebabkan oleh aliran fluida di dalam media. Kecepatan efektif suara dalam fluida bergerak sama dengan kecepatan suara relatif terhadap medium ditambah kecepatan fluida terhadap sumber suara. Dengan demikian, gelombang suara yang menyebar ke *upstream* akan memiliki kecepatan efektif yang lebih kecil, sementara suara yang menyebar *downstream* akan memiliki kecepatan efektif yang lebih tinggi. Karena perbedaan antara dua kecepatan adalah dua kali dari kecepatan fluida, mengukur perbedaan kecepatan *upstream-downstream* memungkinkan kita untuk menentukan kecepatan aliran.



Gambar 1. Ultrasonic flowmeter dan posisi dari kristal *transmitter-receiver* pada aliran^[8]

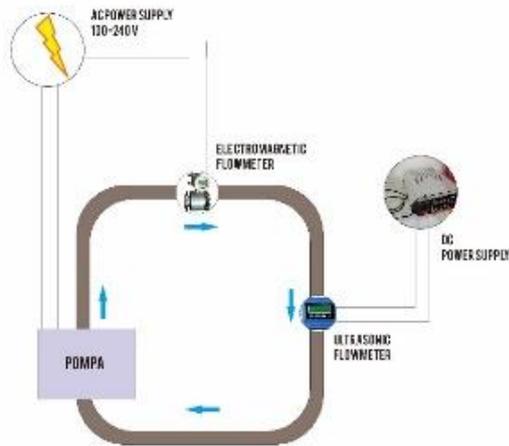
Gambar 1 merupakan dua *transducer* ultrasonik yang dipasang pada pipa dengan menggunakan *V-method*. Metode ini sering digunakan untuk pengukuran sehari-hari dan juga penggunaan metode ini jika diameter

dalam pipa adalah dari 15 mm hingga 200 mm. Metode ini juga bisa disebut mode *reflective*^[8]. Karena prinsip kerja dari setiap sensor adalah berbeda, maka dari itu akan terjadi perbedaan pengukuran. Maka analisis deviasi setiap sensor diperlukan untuk pengukuran laju aliran pada Untai FASSIP-01 dan Untai FASSIP-02.

METODE

Penelitian untuk menentukan karakteristik *flowmeter* ultrasonik memerlukan objek sebagai media untuk mengukur laju aliran, yaitu untai uji BETA yang telah terpasang pompa dengan frekuensi yang dapat divariasikan. Untai uji BETA dapat dilihat pada Gambar 2. Pipa yang terpasang pada untai uji BETA di bagian pemasangan *flowmeter* ultrasonik adalah pipa SS 304 yang memiliki diameter 33,4 mm. Laju aliran yang mengalir melewati sensor elektromagnetik dan ultrasonik akan dibandingkan perbedaannya, sehingga dapat ditentukan deviasi pengukuran *flow* antara sensor ultrasonik dengan sensor elektromagnetik. Selain itu, nilai arus listrik pada *loop* sensor ultrasonik akan diperoleh dari *display* alat tersebut dengan konfigurasi *flow-current* yang berbeda. Dengan demikian karakteristik dari sensor ultrasonik dapat diperoleh dengan menganalisa menggunakan *software* ORIGINLAB dan Microsoft EXCEL.

Dilanjutkan dengan melakukan perbandingan nilai aliran dari persamaan linear karakteristik sensor ultrasonik, elektromagnetik, magnetik, dan turbin.



Gambar 2. *Experimental setup* pada untai uji BETA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Instalasi *Ultrasonic Flowmeter* TUF-2000M

Sebagai alat ukur laju aliran pada pipa, tentunya sensor harus disesuaikan dengan lingkungannya, dalam hal ini ketika sensor dipasang pada pipa tentunya harus ada parameter dari pipa yang diatur pada sensor. Parameter – parameter yang diatur pada sensor, yaitu diameter pipa 34,1mm, ketebalan pipa 1”, bahan pipa adalah *stainless steel*, jenis fluida yang dialirkan pada pipa adalah air, tipe transduser adalah *Clamp on-TS2*, metode pemasangan transduser adalah *V-method*. Setelah itu pengecekan sinyal. Sinyal yang baik ada

memiliki nilai lebih dari 60, dan ditandai dengan huruf “R” pada *display*. Kalibrasi alat ukur *Ultrasonic Flowmeter* TUF-2000M dan karakterisasi aliran terhadap arus listrik pada untai uji BETA. Kalibrasi dilakukan dengan mengatur frekuensi pompa dan membandingkan nilai yang ditampilkan *Electromagnetic flowmeter* dan *Ultrasonic flowmeter*. Selain itu pada saat melakukan kalibrasi, diatur pula *range* arus listrik yang bekerja pada sensor *Ultrasonic Flowmeter*. Pengkonfigurasi *flowcurrent* untuk 0 LPM memiliki nilai arus pada *loop* sensor adalah 4 mA, sedangkan untuk titik akhir dari laju alir divariasikan mulai dari 100 LPM, 50 LPM, dan 20 LPM dengan arus pada *loop* sensor maksimalnya adalah 20 mA. Maka dari itu selain mengkalibrasi *ultrasonic flowmeter*, didapat juga karakterisasi sensor dengan *deviation error* yang berbeda pula untuk setiap pengkonfigurasi laju alir. Tabel 1 hingga Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran laju aliran pada untai uji BETA dengan variasi frekuensi pompa menggunakan *Ultrasonic Flowmeter* TUF-2000M dan *Electromagnetic Flowmeter* sebagai pembandingan.

Tabel 1. Hasil kalibrasi dengan konfigurasi laju alir 0 - 100 LPM

F (Hz)	Q-EM (LPM)	Q-US (LPM)	Dev.err. (%)	I-US (mA)
0	0	0	0	4
5	4,89	8,36	-71,18	5,43
10	12,13	10,47	13,69	6,01
15	16,13	19,66	-21,89	7,13
20	25,03	21,82	12,84	8,06
25	27,55	30,64	-11,22	8,98
30	36,18	33,28	8,01	9,78
35	39,04	40,98	-4,99	10,84
40	44,51	42,54	4,42	11,23
45	43,27	44,44	-2,72	11,06
50	45,42	43,81	3,54	11,42

Tabel 2. Hasil kalibrasi dengan konfigurasi laju alir 0 - 50 LPM

F (Hz)	Q-EM (LPM)	Q-US (LPM)	Dev.err. (%)	I-US (mA)
0	0	0	0	4
5	4,87	5,55	-13,99	5,72
10	10,47	11,18	-6,72	7,71
15	16,18	16,41	-1,38	9,32
20	21,86	21,20	3,00	10,58
25	27,67	27,48	0,70	12,84
30	33,15	33,29	-0,41	14,77
35	38,94	36,88	5,28	16,05
40	42,52	45,37	-6,71	18,15
45	43,28	44,24	-2,21	18,82
50	43,76	44,15	-0,88	18,33

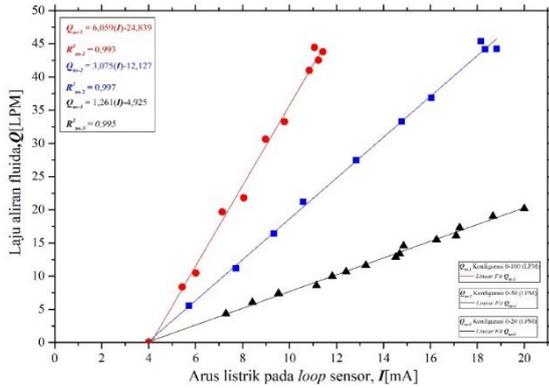
Tabel 3. Hasil kalibrasi dengan konfigurasi laju alir 0 - 20 LPM

F (Hz)	Q-EM (LPM)	Q-US (LPM)	Dev.err. (%)	I-US (mA)
0	0	0	0	4
5	4,89	4,35	11,04	7,29
6	5,99	6,06	-1,21	8,42
7	7,11	7,41	-4,16	9,53
8	8,25	8,59	-4,05	11,15
9	9,33	9,99	-6,97	11,82
10	10,47	10,65	-1,74	12,41
11	11,54	11,63	-0,76	13,25
12	12,77	12,86	-0,73	14,53
13	13,83	13,37	3,34	14,69
14	15,02	14,56	3,06	14,86
15	16,04	15,50	3,32	16,26
16	17,28	16,07	6,99	17,09
17	18,21	17,32	4,92	17,24
18	19,61	19,02	2,97	18,66
19	20,72	20,18	2,60	20,00

Dari hasil pengukuran diperoleh nilai deviasi untuk konfigurasi laju alir pertama adalah

6,32 %, konfigurasi laju alir kedua adalah 2,12 % dan konfigurasi laju alir ketiga adalah 1,16 %. Dari data yang diperoleh bahwa semakin rapat konfigurasi flow-current maka nilai Dev.err. akan semakin mengecil. Hal ini bisa disebabkan karena sensor tidak ditempatkan dalam satu pipa yang sama, selain itu rangkaian dari masing - masing pun berbeda, dan juga tipe dari flowmeter yang digunakan dan yang dijadikan sebagai kalibrator berbeda yang mengartikan bahwa cara kerja dari kedua alat tidaklah sama, untuk sensor ultrasonic flowmeter yang digunakan adalah jenis sensor dengan mendeteksi pergeseran waktu (time shifting) karena laju aliran pada pipa, sedangkan untuk electromagnetic flowmeter adalah jenis sensor y dengan menggunakan Hukum Faraday untuk mendeteksi adanya induksi elektromagnetik yang diakibatkan oleh fluida yang mengalir pada pipa.

Selain itu, pada saat pengukuran didapat juga nilai arus listrik pada *loop* sensor *ultrasonic flowmeter*. Setelah diproses dengan menggunakan *software* OriginLAB, didapat hasil grafik karakterisasi laju aliran fluida dengan arus listrik yang bekerja pada *loop Ultrasonic Flowmeter TUF-2000M*.



Gambar 3. Karakteristik penggabungan dari tiap konfigurasi laju alir

Perbandingan Karakteristik Flowmeter

Persamaan linear karakteristik dari sensor ultrasonik yang akan digunakan adalah persamaan dengan nilai deviasi paling rendah.

Persamaan tersebut akan dibandingkan dengan persamaan linear karakteristik sensor lainnya, pada Tabel 4. adalah persamaan linear karakteristik *flow* terhadap arus listrik pada *loop* sensor yang akan dibandingkan. Setelah itu persamaan linear tersebut dimasukan nilai *I* dari 4-20 mA. Dengan demikian, nilai *Q* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 4. Persamaan linear karakteristik *flow* terhadap arus listrik untuk berbagai macam sensor yang berbeda

Jenis Sensor	Laju alir (LPM)	Persamaan Karakteristik	Koefisien Korelasi R ²
Turbine (wheel) Flowmeter FLR 1009ST-I	0-0,5	Q = 31,25 (I) - 129,05	0,908
Ultrasonic Flowmeter TUF-2000M	0-20	Q = 1,261 (I) - 4,925	0,995
Magnetic Flowmeter FMG-3002	0-160	Q = 10,056 (I) - 39,404	0,998
Electromagnetic Flowmeter Auto flow E-Mag	0-160	Q = 9,169 (I) - 36,676	1,000

Tabel 5. Hasil perhitungan nilai *flow Q* dengan memasukan variabel *I*

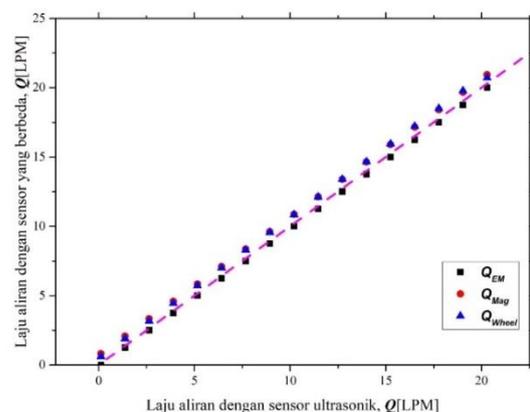
No	Q _{EM} interpolasi (LPM)	Q _{Mag} interpolasi (LPM)	Q _{wheel} ekstrapolasi (LPM)	Q _{US} (LPM)	Deviasi Q _{US} -Q _{EM} (%)	Deviasi Q _{US} -Q _{Mag} (%)	Deviasi Q _{wheel} -Q _{US} (%)
1	0	0,817	0,619	0,119	100	586,555	420,230
2	1,250	2,074	1,896	1,380	9,397	50,281	37,426
3	2,501	3,331	3,174	2,641	5,315	26,117	20,177
4	3,751	4,588	4,451	3,902	3,871	17,571	14,077
5	5,001	5,845	5,729	5,163	3,132	13,200	10,956
6	6,252	7,101	7,006	6,424	2,684	10,545	9,061
7	7,502	8,358	8,283	7,685	2,382	8,761	7,788
8	8,752	9,615	9,561	8,946	2,166	7,480	6,873
9	10,003	10,872	10,838	10,207	2,003	6,515	6,185
10	11,253	12,129	12,116	11,468	1,876	5,763	5,648
11	12,503	13,386	13,393	12,729	1,774	5,159	5,217
12	13,754	14,643	14,670	13,990	1,690	4,665	4,864
13	15,004	15,900	15,948	15,251	1,621	4,252	4,570
14	16,254	17,156	17,225	16,512	1,562	3,902	4,320
15	17,504	18,413	18,503	17,773	1,511	3,602	4,106
16	18,755	19,670	19,780	19,034	1,467	3,342	3,920
17	20,005	20,927	20,715	20,295	1,428	3,114	2,068
Rata - rata deviasi					8,464	44,754	33,382

Tabel 6. Hasil Interpolasi dan Ekstrapolasi Data *flow* dari sensor

I (mA)	Q_{EM} (LPM)	Q_{Mag} (LPM)	Q_{US} (LPM)	Q_{Wheel} (LPM)
4	0	-4,05	0,817	0,119
5	9,169	27,2	10,872	1,38
6	18,338	58,45	20,927	2,641
7	27,507	89,7	30,982	3,902
8	36,676	120,95	41,037	5,163
9	45,845	152,2	51,092	6,424
10	55,014	183,45	61,147	7,685
11	64,183	214,7	71,202	8,946
12	73,352	245,95	81,257	10,207
13	82,521	277,2	91,312	11,468
14	91,69	308,45	101,367	12,729
15	100,859	339,7	111,422	13,99
16	110,028	370,95	121,477	15,251
17	119,197	402,2	131,532	16,512
18	128,366	433,45	141,587	17,773
19	137,535	464,7	151,642	19,034
20	146,704	495,95	161,697	20,295

Bila dilihat nilai *flow* berdasarkan kenaikan arus akan berbeda karena konfigurasi *flow-current* dari masing – masing alat berbeda. Dengan demikian, untuk nilai *flow* dengan menggunakan persamaan linear karakteristik dari sensor elektromagnetik, dan magnetik di interpolasi pada saat ± 20 LPM agar dapat dibandingkan dengan karakteristik dari sensor ultrasonik. Sedangkan untuk sensor turbin (*wheel*), data tersebut di ekstrapolasi hingga didapatkan ± 20.000 mLPM atau ± 20 LPM. Setelah didapat karakteristik dari tiap sensor, dan faktor korelasi $R^2 \approx 1$, maka data diolah untuk mendapatkan perbandingan dengan *flowmeter* ultrasonik. Apabila dilihat pada Tabel 5.6, nilai deviasi paling rendah pada saat *flowmeter* ultrasonik dibandingkan dengan *flowmeter* elektromagnetik dengan nilai 8,464%. Namun, perbandingan dengan *flowmeter* magnetik dan *wheel* memiliki deviasi yang sangat besar. Hal ini

dikarenakan data yang diinterpolasi/ekstrapolasi terlalu sedikit, walaupun persamaan linear karakteristik dari tiap *flowmeter* memiliki nilai koefisien korelasi yang hampir mendekati 1. Selain itu, cara kerja dari masing – masing sensor adalah berbeda dan tingkat kesensitifan ketika adanya aliran pun tidaklah sama. Untuk melihat kelinearitasan dari tiap – tiap *flowmeter* maka dibuat grafik pada Gambar 5.

**Gambar 3.** Perbandingan antara Q_{US} dengan Q sensor lainnya

KESIMPULAN

Ultrasonic Flowmeter TUF-2000M telah dikalibrasi dengan 3 konfigurasi laju alir yaitu 0 – 100, 0 - 50, dan 0 - 20 LPM. Masing – masing konfigurasi memiliki deviasi 6,32 %, 2,12 %, dan 1,16 %. Karakteristik dari *Ultrasonic Flowmeter* TUF-2000M terhadap arus listrik yang bekerja pada *loop* sensor didapatkan dengan menggunakan persamaan linear karakteristik yang memiliki deviasi 1,16 %. Persamaan tersebut adalah $Q_{US} = 1,261 (I) - 4,925$ dengan koefisien korelasi $R^2 = 0,995$ dan dibandingkan dengan *flowmeter* lainnya. Perbandingan antar *flowmeter* dilakukan dengan menginterpolasikan / mengekstrapolasikan data dari *flowmeter* elektromagnetik, magnetik, dan turbin sehingga konfigurasi *flow-currentnya* 0-20 (LPM). Dengan hasil tersebut didapatkan nilai deviasi untuk $Q_{US}-Q_{EM}$ adalah 8,464 %, deviasi untuk $Q_{US}-Q_{Mag}$ adalah 44,754 %, dan deviasi untuk $Q_{Wheel}-Q_{US}$ sebesar 33,382 %.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Kepala PTKRN BATAN atas kebaikan dan izinnya untuk memberikan kami kesempatan melaksanakan magang ilmiah. Terima kasih juga kepada para staf PTKRN BATAN yang telah mendukung kegiatan ini. Kegiatan ini

didanai oleh KEMENRISTEKDIKTI melalui Program INSINAS Pratama Kemitraan 2018 antara PTKRN BATAN dan FTUI.

DAFTAR PUSTAKA

1. M. HOLT, R. J. CAMPBELL, M. B. NIKITIN, "Fukushima Nuclear Disaster". Congressional Research Service 7-5700, 2012
2. M. JUARSA, A. R. ANTARIKSAWAN dkk. Estimation of Natural Circulation FLOW Based on Temperature in the FASSIP-02 Large-Scale Test Loop, Facility, The 2nd International Tropical Energy Conference (i-TREC) 2017 Bali-Indonesia 3-4 October 2017 (published in IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 105 (2017)).
3. R. ANTARIKSAWAN, S. WIDODO, M. JUARSA, DEDY HARYANTO, M. H. KUSUMA, NANDY PUTRA, Numerical study on natural circulation characteristics in FASSIP-02 experimental facility using RELAP5code, The 2nd International Tropical Renewable Energy, Bali-Indonesia 3-4 October 2017 (published in IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 105 (2017)).
4. M. MISALE, et al., Some Considerations On The Interaction Between The Fluid And Wall Tube

- During Experiments in a Single-Phase Natural Circulation Loops. Proceedings of The 3rd IASME/WSEAS Int. Conf. on Heat Transfer, Thermal Engineering and Environment 128, 2005.
5. YORAM, Z. A Review Of Natural Circulation Loops in Pressurized Water Reactors and Other Systems. North-Holland. Nuclear Engineering and Design 67, 1981, 203-225
 6. HAKIM, FAISAL NUR, Estimasi Laju Aliran Sirkulasi Alam Untai FASSIP-02 Berdasarkan Variasi Temperature *WHT* dan *WCT* Menggunakan MATLAB, 2018.
 7. JUARSA, MULYA dkk. Analisis Aliran Sirkulasi Alamiah Dengan Bilangan Reynolds Berdasarkan Variasi Sudut Kemiringan Untai Simulasi Sirkulasi Alamiah. ISBN 978-979-97986-6-4
 8. User Manual TUF-2000M
 9. MAULANA, RESTIYA, Karakterisasi Flowmeter FLR 1009ST-I Dengan Menggunakan Kalibrator JOFRA Dan Modul NI Yang Digunakan Pada Untai uji Keselamatan PLTN FASSIP-02, STT-PLN, 2017, Jakarta.