EKSPERIMEN AWAL ALIRAN SIRKULASI ALAMIAH PADA SIMULASI SISTEM KESELAMATAN PASIF

Ainur Rosyidi, Sagino

Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) - BATAN

ABSTRAK

EKSPERIMEN AWAL ALIRAN SIRKULASI ALAMIAH PADA SIMULASI SISTEM KESELAMATAN PASIF. Kecelakaan pada PLTN Fukushima menunjukkan gagalnya sistem aktif, sehingga penggunaan sistem keselamatan pasif menjadi suatu keharusan. Sistem keselamatan pasif menerapkan hukum alamiah, dalam hal ini fenomena sirkulasi alamiah. Kegiatan eksperimen awal aliran sirkulasi alamiah melalui simulasi sistem keselamatan pasif ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan aliran pada untai uji NC-QUEEN yang dilakukan melalui perhitungan dari hasil eksperimen. Eksperimen dilakukan dengan menvariasikan perbedaan ketinggian posisi antara *cooler* dan *heater* yaitu H-1=1,4 m, H-2=1 m, dan H-3=0,3 m. Dari hasil eksperimen dan perhitungan didapatkan nilai kecepatan rata-rata pada variasi ketinggian H-1 adalah 0,0000103601 m/detik, H-2 adalah 0,00000619464 m/detik dan H-3 adalah 0,0000018315 m/detik. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi jarak antara *heater* dan *cooler* maka semakin cepat kecepatan rata -rata airnya.

Kata Kunci : eksperimen, sistem keselamatan pasif, sirkulasi alamiah.

ABSTRACT

PRELIMINARY EXPERIMENT ON NATURAL CIRCULATION FLOW SIMULATION OF PASSIVE SAFETY SYSTEMS. *Accident at the Fukushima nuclear power plant showed the failure of the active system, so that the use of passive safety systems are important to overcome that weakness if required. The passive safety systems apply a natural law, in this case the natural circulation phenomena. An initial experiment of the natural circulation flow by simulating the passive safety systems was conducted in the NC-QUEEN test loop to determine the flow velocity by calculation of the experiment results. The experiment was done by varying the height difference between the cooler and heater positions, which are H-1 = 1.4 m, H -2 = 1 m and H-3 = 0.3 m. Based on the experimental results, the calculated average value of the flow velocity for the height different of H-1 is 0.0000103601 m/sec, H-2 is 0.00000619464 m/sec and H-3 is 0.0000018315 m/sec. Based on those results, it is concluded that the more the height between the heater and cooler, the average water velocity become faster.*

Keywords: *experiment, passive safety systems, natural circulation.*

PENDAHULUAN

Keselamatan memiliki peran utama dalam instalasi dan pengoperasian suatu reaktor nuklir. Salah satu konsep sistem keselamatan yang terus di kembangkan saat ini adalah sistem keselamatan pasif, setelah kecelakaan reaktor nuklir PLTN tipe BWR di Fukushima Dai-ichi pada Maret 2011. Pemicu dasar kejadian ini adalah tsunami yang masuk ke dalam komplek reaktor dan merusak emergency generator diesel. Akibatnya sistem terebut tidak dapat mensuplai daya listrik yang dibutuhkan oleh sistem pendinginan darurat (*emergency cooling system*), dimana sistem ini masih menggunakan pompa (sistem aktif). Gagasan dasar dari pengembangan sistem keselamatan pasif tersebut adalah menyederhanakan desain sehingga memudahkan pengoperasiannya dan meningkatkan keselamatan dengan menggunakan sistem yang lebih handal karena menggunakan gaya alami serta menurunkan biaya untuk pembangunan, pengoperasian dan perawatan PLTN[1].

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, fan, dll. Sirkulasi alamiah timbul akibat perbedaan kerapatan fluida dan perbedaan ketinggian, salah satu penyebab perbedaan kerapatan adalah beda temperatur. Sistem keselamatan pasif berfungsi untuk membuang sisa panas hasil peluruhan secara alamiah. Beberapa sistem pasif yang sedang dikembangkan adalah PAFS (*Passive Auxiliary Feedwater System*). PAFS adalah salah satu fitur keselamatan canggih yang di adopsi dalam APR+ yang dapat meningkatkan keandalan sistem keselamatan pada reaktor nuklir dan mengurangi kesalahan operator.

Untuk memahami fenomena sirkulasi alam maka telah dilakukan kegiatan eksperimen awal aliran sirkulasi alamiah pada simulasi sistem keselamatan pasif. Salah satu tujuan eksperimen adalah untuk mengetahui karakteristik perubahan temperatur dan kecepatan aliran berdasarkan perubahan ketinggian antara *cooler* dan *heater* sebagai sumber dan pembuang kalor. Dengan prinsip kerja pemindah kalor berupa loop tertutup *thermosyphon* yang memiliki kemampuan untuk memindahkan kalor dari suatu sumber ke area lain yang lebih dingin dengan jarak tertentu. Kondisi ini dapat digambarkan dengan untai tertutup yang diisi fluida kerja (air) [2]. Jika salah satu bagian dipanaskan dan bagian lainnya didinginkan, maka kerapatan air di bagian yang panas lebih rendah dibandingkan dengan bagian dingin. Perbedaan tekanan hidrostatik karena kerapatan akan menyebabkan gradien kerapatan yang menggerakkan air untuk mengalir di dalam untai. Kemampuan pergerakan molekul air karena beda kerapatan dan ditambah adanya perbedaan ketinggian akan menimbulkan aliran di dalam untai. Stabilitas aliran diharapkan akan timbul apabila terjadi perbedaan temperatur yang stabil antara bagian dingin dan bagian panas sehingga timbul fenomena aliran sirkulasi alam.

TEORI

Laju aliran fluida ada 2 macam, antara lain yaitu : aliran fluida stabil (*steady*) dan aliran fluida tidak stabil (*unsteady*). Laju aliran fluida dapat dihitung dengan persamaan di bawah ini:

$$v = \dot{V} / A \quad \text{..... (1)}$$

Dimana

- V: debit aliran massa air (m^3/s) ,
- A : luasan hidrodinamika (m^2) ,

Perhitungan laju aliran massa air dengan mengkonversikan perbedaan temperatur *heater* dan temperatur *cooler* menjadi densitas air menggunakan persamaan [3-4] di bawah ini

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{2gHp_a(\rho_c - \rho_h)}{R}} \quad \text{..... (2)}$$

Dimana

- $\dot{m}$: laju aliran massa air (kg/s) ,
- H : ketinggian antara *heater* dan *cooler* (meter) ,
- ρ : massa jenis air (kg/m^3),
- g : percepatan gravitas (m/s^2)
- R : resistansi hidrodinamika (m^{-4}).

Hasil perkalian antara $\dot{V}$ (m^3/s) debit air dengan densitas air adalah laju aliran massa air sesuai korelasi berikut:

$$\dot{m} = \dot{V}\rho_a = Av\rho_a \quad \text{..... (3)}$$

Bila korelasi (2) disubstitusikan ke dalam korelasi (3), diperoleh korelasi (4) berikut:

$$v^2 = \frac{2gH(\rho_c - \rho_h)}{R\rho A^2} \quad \text{.....(4)}$$

Dimana R adalah resistansi termohidrolik yang dihitung dengan korelasi (5):

$$R = \frac{64\mu L + K\rho v D^2}{\rho v A^2 D^2} \quad \text{.....(5)}$$

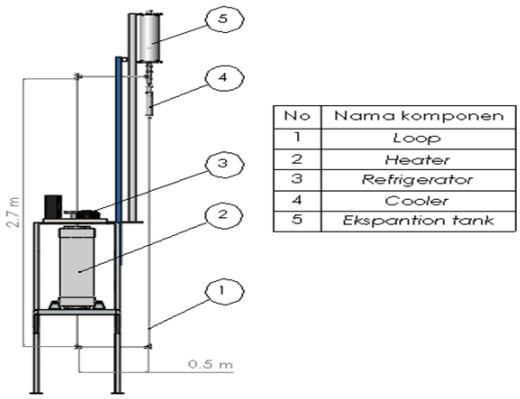
Dimana L (m) panjang total pipa dan D (m) diameter dalam pipa. Untuk memperoleh kecepatan rata-rata di dalam pipa adalah dengan mensubstitusikan korelasi (4) ke dalam korelasi (5), dengan menggunakan rumus abc diperoleh korelasi (6), sebagai berikut:

$$v = \frac{-64\mu L + \sqrt{(64\mu L)^2 + 8gHK\rho D^4(\rho_c - \rho_h)}}{2K\rho D^2} \quad \text{..... (6)}$$

TATA KERJA

Penelitian ini dilakukan pada untai uji NC-QUEEN seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Untai uji NC-QUEEN terdiri dari komponen *heater*, tabung *flexy glass*, *cooler*, termokopel, *tube* SS316 (1 inch, ¾ inch), *tee*, *elbow*, *union*, air sebagai fluida kerjanya. Untuk akuisisi data digunakan komputer dan NI-DAQ sebagai penyimpanan data hasil eksperimen. Penggunaan *software* juga disertakan dalam penelitian ini seperti, LabVIEW, dan OriginLab8. Termokopel yang akan di pasang di dalam NC-QUEEN terlebih dahulu dikalibrasi dengan penyambungan ujung kabelnya

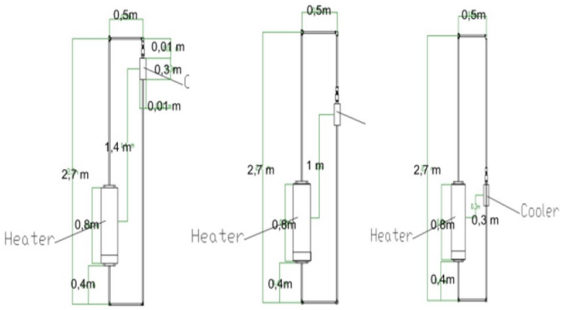
yaitu kawat *cromel* dan kawat *alumel* dengan menggunakan DC *power supply* dan dipasang *head.* Sistem akuisisi data *National Instrument* yang digunakan untuk proses perekaman data dikalibrasi dengan menggunakan alat yang dapat mengeluarkan masukan berupa arus yang disebut JOFRA. Termokopel yang sudah terpasang *head* dikalibrasi dengan cara di-masukkan kedalam air panas dan dibandingkan dengan termometer standard.



No	Nama komponen
1	Loop
2	Heater
3	Refrigerator
4	Cooler
5	Ekspantion tank

Gambar 1. Desain Untai Uji NC-QUEEN

Untuk memperoleh data dari eksperimen ini dilakukan variasi ketinggian *cooler*, yaitu dengan ukuran 1,4 meter (H1) di ukur dari titik tengah *heater* dan *cooler,* 1 meter (H2) dan 0,3 meter (H3) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

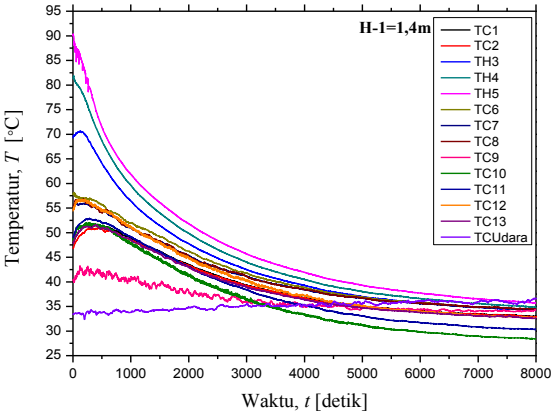


Gambar 2. Variasi ketinggian *cooler* H1, H2, dan H3

Cara kerja eksperimen adalah dengan menghidupkan dan menaikan daya *regulator voltage* untuk memanaskan *heater* sebagai pemanas fluida yang berada di dalam *tube.* Setelah temperatur mencapai yang diinginkan maka seluruh distribusi listrik dimatikan, dan *cooler* dihidupkan untuk mendinginkan fluida yang telah dipanaskan oleh *heater*. Data eksperimen berupa temperatur yang dibaca oleh termokopel akan direkam melalui NI-DAQ dan disimpan di komputer.

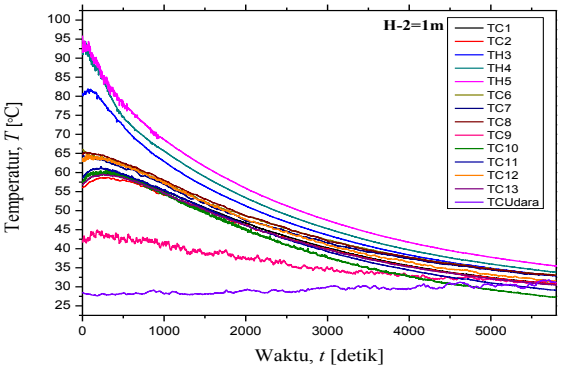
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang diperoleh dari hasil eksperimen adalah data temperatur pada setiap titik termokopel yang terpasang disetiap titik *tube* SS316. Data temperatur yang diperoleh pada eksperimen dengan ukuran *tube* ¾ inch dan ketinggian *cooler* (*ΔH*) diplot ke dalam bentuk grafik di bawah ini.



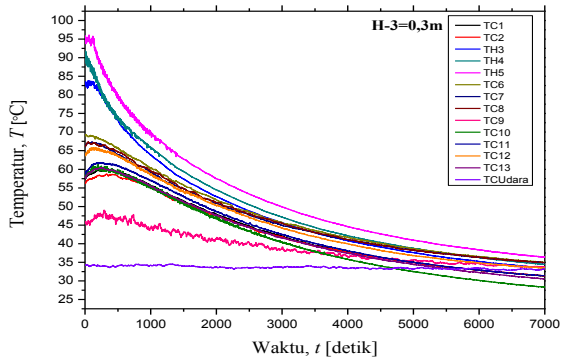
Gambar 3. Data temperatur H1

Gambar 3 menunjukan penurunan temperatur pada variasi ketinggian *cooler* H1-1,4 m. Penurunan terjadi pada saat *heater* dimatikan dan *cooler* mulai dihidupkan.



Gambar 4. Data temperatur H2

Gambar 4, menunjukan data tempertur pada variasi ketinggian *cooler* terhadap waktu H2-1 m. Penurunan terjadi pada saat *heater* dimatikan dan *cooler* mulai dihidupkan.



Gambar 5. Data temperatur H3

Gambar 5 menunjukan data temperatur pada variasi ketinggian *cooler* H3-0,3 m terhadap waktu. Penurunan terjadi pada saat *heater* dimatikan dan *cooler* mulai dihidupkan.

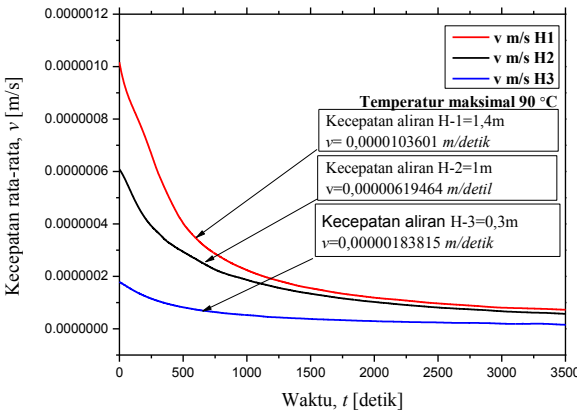
Data hasil eksperimen berupa data temperatur dan data densitas air yang telah dihitung digunakan untk mencari laju aliran massa air. Yang mempengaruhi kecepatan aliran adalah, diameter *tube*, panjang *loop*, viscositas dan perbedaan densitas di *heater* (ρ_h) dan *cooler* (ρ_c). Untuk menghitung kecepatan aliran digunakan persamaan (6) dimana diketahui:

- L = 6,4 m
- g = 9,8 kg/m^2
- K = 0,015
- $H = H_1$, H_2, *atau* H_3
- D = 0,016 m

Data hasil perhitungan densitas air pada *heater* (ρ_h), *cooler* (ρ_c) dan viskositas air μ adalah:

- ρ_h = *964,7262* kg/m^3
- ρ_c = 988,5692 kg/m3
- μ = 395,3902 kg/m.detik.

Berdasarkan persamaan (6) maka diperoleh nilai kecepatan aliran rata-rata untuk variasi ketinggian H1 adalah 0,00000103601 m/detik. Kecepatan aliran rata-rata pada variasi ketinggian H2 adalah 0,00000619464 m/detik sementara untuk variasi ketinggian H3 0,0000018315 m/detik. Gambar 6 menunjukkan grafik kecepatan aliran untuk ketiga variasi ketinggian *cooler* di atas.



Gambar 6. Grafik kecepatan rata-rata air pada ketinggian *cooler* H1, H2, H3.

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin tinggi jarak antara *heater* dan *cooler* maka semakin cepat kecepatan rata-rata air-

nya. Hal itu disebabkan oleh jarak antara *heater* dan *cooler* yang semakin tinggi yang menyebabkan beda kerapatan yang besar dan menggerakkan air untuk mengalir di dalam untai.

KESIMPULAN

Karakteristik perubahan temperatur pada untai uji NC-QUEEN dengan menvariasikan perbedaan ketinggian posisi antara *cooler* dan *heater* menghasilkan nilai kecepatan rata-rata pada variasi ketinggian H-1 adalah 0,0000103601 m/detik, H-2 adalah 0,00000619464 m/detik dan H-3 adalah 0,0000018315 m/detik. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi jarak antara *heater* dan *cooler* maka semakin cepat kecepatan rata-rata airnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, "TECDOC 1264, Passive Safety Sistems and Natural Circulation in Water Cooled Nuclear Power Plant", WINA, 2009
2. NUR SYAMSI SYAM, “Aplikasi Sistem Keselamatan Pasif pada Reaktor Nuklir”, Prosiding Pertemuan Ilmiah XXV HFI, 2011
3. R. GREIF, “Natural Circulation Loops”, Journal of Heat Transfer 1988; 110; 1243–1257.
4. Y. ZVIRIN, “A review of N. C. loops in PWR and Other Systems”, Nuclear Engineering and Design 1981; 67:203–225.