

PERHITUNGAN LAJU ALIR PENDINGIN AIR SISI PRIMER PADA UNTAI UJI BETA UNTUK EKSPERIMEN SISTEM PASIF

Defri Sulaeman¹, Surip Widodo², Mulya Juarsa^{1,2}

¹Lab. Riset Engineering Development for Energy Conversion and Conservation (EDfEC)
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor

²Lab. Riset Thermofluids Experimental
Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir - BATAN

ABSTRAK

PERHITUNGAN LAJU ALIR PENDINGIN AIR SISI PRIMER PADA UNTAI UJI BETA UNTUK EKSPERIMEN SISTEM PASIF. Kecelakaan *Boiling Water Reactor* (BWR) di Fukushima Jepang, menunjukkan kegagalan sistem keselamatan reaktor dalam mengantisipasi bencana besar gempa bumi dan tsunami dan menyebabkan terjadinya SBO (*Station Black Out*). Peranan sistem keselamatan pasif untuk diterapkan pada desain reaktor nuklir yang menggunakan metode sirkulasi alami dalam meningkatkan keselamatan adalah fokus pada makalah ini. Untuk mempelajari sistem pasif sebagai sistem keselamatan dilakukan eksperimen pada fasilitas sistem pasif BETA dengan tujuan untuk mengetahui laju aliran massa air pada sistem pasif dengan air sebagai fluida kerjanya. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan temperatur pada *heater* dengan variasi temperatur 85°C. Dari hasil eksperimen dan perhitungan korelasi diperoleh laju aliran massa air dengan variasi temperatur 85°C adalah $4,8606 \times 10^{-7}$ kg/detik.

Kata kunci: sistem pasif, laju aliran massa, untai uji BETA, perhitungan

ABSTRACT

CALCULATION OF COOLING WATER FLOW RATE ON THE PRIMARY SIDE OF THE BETA TEST LOOP FOR PASSIVE SISTEM EXPERIMENT. Accident at *Boiling Water Reactor* (BWR) in Fukushima Japan, shows the failure of reactor safety systems to anticipate the earthquake and tsunami leading to the SBO (*Station Black Out*) event. The role of passive system to be implemented in the nuclear reactor design by using natural circulation to increase the safety is the focus in this paper. To study the passive safety systems, an experiment is conducted on the BETA test loop in order to calculate the water mass flow rate in the test loop with the water as the working fluid. The experiment is performed by varying the temperature of the heater with temperature variation of 85 °C. From the experimental results and the calculation, the water mass flow rate with the heater temperature of 85 °C is to be calculated as 4.8606×10^{-7} kg/s.

Keywords: passive sistems, mass flow rate, BETA test loop, calculation.

PENDAHULUAN

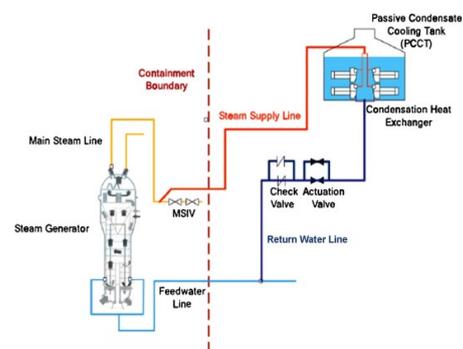
Kejadian kecelakaan di Fukushima terjadi pada PLTN jenis *Boiling Water Reactor* (BWR) yang disebabkan oleh kejadian eksternal berupa gempa bumi dan tsunami^[1]. Kejadian tersebut menyebabkan apa yang disebut dengan *Station Black Out* (SBO) akibat tidak bekerjanya *Diesel Generator* untuk menyuplai daya listrik ke sistem reaktor yang penting untuk keselamatan. Dengan demikian kelemahan sistem keselamatan BWR di Fukushima telah teridentifikasi^[2,3]. Salah satu inovasi desain reaktor untuk meningkatkan keselamatan adalah desain reaktor Generasi III dan III+ yang memanfaatkan fitur keselamatan pasif. Salah satu desain reaktor Generasi III tipe BWR adalah ESBWR dan AP1000 untuk Generasi III+ tipe *Pressurized Water Reactor* (PWR)^[4,5]. AP1000 merupakan desain reaktor Generasi III+ pertama yang telah mendapatkan sertifikasi desain dari *United State Nuclear Regulatory Commission* (USNRC). Fitur keselamatan pasif pada reaktor Generasi III secara umum, memanfaatkan fenomena perubahan pendingin secara alami dalam bentuk sirkulasi alam (*natural circulation*) sehingga memiliki ketahanan terhadap temperatur tinggi. Fitur tersebut diwujudkan dalam bentuk sistem pasif yang tidak membutuhkan intervensi operator maupun bekerjanya sistem aktif seperti pompa dan generator^[6]. Dengan mengetahui keunggulan sistem pasif sebagai salah satu konsep untuk meningkatkan keselamatan pada reaktor daya nuklir, maka penelitian ini dilakukan untuk mempelajari fenomena sirkulasi alam dan mengembangkan fasilitas eksperimen sistem

pasif pada fasilitas Untai Uji BETA yang terdapat di laboratorium termohidraulika Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) – BATAN. Kegiatan penelitian terdiri dari kegiatan merancang dan mendesain alat unta uji BETA menjadi sistem pasif BETA. Makalah ini menguraikan salah satu proses pengembangan fasilitas, dimana perlu dilakukan perhitungan laju alir pendingin air pada sistem pasif BETA dengan cara mengubah temperatur pendingin yang keluar dari alat *heater* yang terpasang pada fasilitas tersebut.

TEORI

Sistem Pasif

Sistem pasif adalah salah satu konsep keselamatan dalam reaktor nuklir yang memanfaatkan proses sirkulasi alam dalam membuang panas yang dihasilkan oleh teras reaktor untuk mendinginkan teras dan melindungi bejana reaktor^[7]. Sirkulasi alam dalam sistem ini disebabkan oleh gravitasi dangaya apung yang ditimbulkan dari perbedaan densitas fluida yang mengalir pada bagian yang didinginkan atau dipanaskan^[8]. Salah satu konsep yang menggambarkan sistem pasif ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konsep sistem pasif pada pembangkit uap^[6]

Gambar 1 menunjukkan salah satu konsep pasif padapembangkit uap, dimana terdapat *cooler* dan *heater* sebagai salah satu syarat dari system pasif. *Heater* diwakili oleh pembangkit uap yang menghasilkan uap jenuh dan dialirkan ke suatu tangki pendingin. Tangki pendingin tersebut berfungsi sebagai *cooler*, dimana kalor di dalam uap jenuh akan dibuang ke dalam air pendingin secara pasif melalui penukar kalor. Di dalamnya terjadi proses kondensasi yang mengubah uap jenuh menjadi air untuk diarahkan kembali ke perpipaan air umpan (*feedwater line*). Karena proses kondensasi di atas terjadi secara pasif maka tangki penampung juga disebut sebagai tangki pendinginan kondensat secara pasif.

Laju Alir Pendingin Air

Pada proses pengembangan alat eksperimen sistem pasif pada untai uji BETA, perlu dilakukan perhitungan laju alir fluida air dengan mengkonversikan perbedaan temperature air di bagian *heater* dan *cooler* menjadi densitas. Perhitungan untuk memperoleh laju alir fluida air dilakukan menggunakan persamaan berikut ^[10]:

$$\dot{m} = \sqrt{\frac{2gH\rho_{air}(\rho_c - \rho_h)}{R}} \quad \dots\dots\dots(1)$$

\dot{m} = laju alir massa air, (kg/detik)

H = ketinggian antara *heater* dan *cooler*, (meter)

r = massa jenis air, (kg/m³)

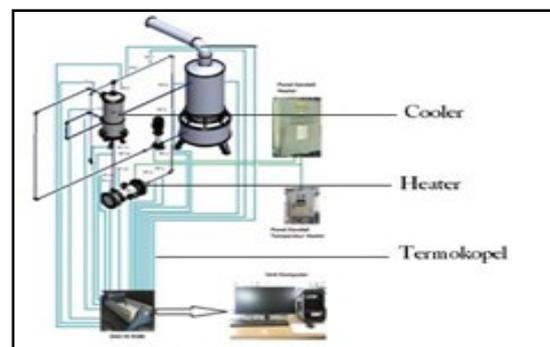
g = percepatan gravitasi (m/detik²)

R = resistensi hidrodinamika (m⁴)

TATA KERJA

Eksperimen dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut:

- Mendesain untai eksperimen sistem pasif BETA menggunakan *Software Solidworks 2010* seperti ditunjukkan pada Gambar 2.
- Membuat termokopel tipe K dan mengkalibrasi termokopel tersebut dengan membandingkan hasil pengukuran dengan termokopel standar yang telah terkalibrasi dan termometer sebagai kalibrator.
- Memasang termokopel untuk membaca temperatur, alat akuisisi data NI-DAQ 9188 untuk mencatat temperatur dari termokopel, dan PC untuk menampilkan data pada komputer.
- Melakukan analisis data hasil eksperimen untuk mengetahui laju aliran dan diolah dengan menggunakan ORIGIN8.

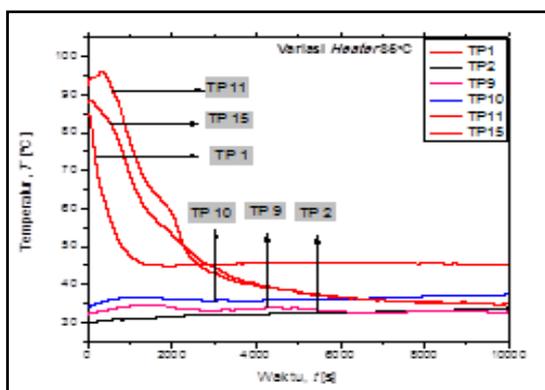


Gambar 2. Rancangan Fasilitas Eksperimental Sistem Pasif BETA

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 adalah grafik hasil eksperimen berupa karakteristik temperatur pada termokopel yang terletak pada *heater* dan *cooler* dengan temperatur *heater* 85°C pada saat proses penurunan temperatur *heater*. Data yang direkam adalah pada saat proses selama

penurunan temperature *heater*, dimana TP 1 adalah termokopel terpasang pada *heater* dan menunjukkan temperatur 85,9 °C pada saat awal penurunan. TP 2 menunjukkan temperatur fluida air pada *inlet heater* dan menunjukkan temperatur 30,06 °C sebagai temperatur awal. TP 15 menunjukkan temperatur fluida air pada *outlet heater* dan menunjukkan temperatur 88,48°C sebagai temperatur awal pada saat proses penurunan. Setelah beberapa saat, TP 15 pada *outlet heater* menunjukkan temperatur 92,6°C sebagai temperatur awal pada saat proses penurunan. TP 10 yang terpasang pada *cooler* menunjukkan temperatur 33,75°C pada saat awal penurunan temperatur *heater*, sementara TP 9 pada *outlet cooler* menunjukkan temperatur fluida air 32,08 °C. Hasil di atas menunjukkan bahwa setiap perbedaan temperature antara *Heater* dan *Cooler* yang semakin besar selama proses penurunan temperatur *heater*, maka laju aliran massa air menjadi semakin cepat. Data tersebut adalah hasil dari rancangan sistem pasif BETA yang ditujukan pada Gambar 2. Setelah semua data diperoleh maka disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 3 di bawah ini:

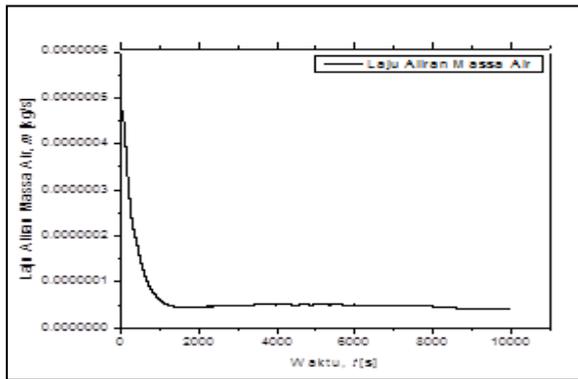


Gambar 3. Data temperatur pendingin pada temperatur *Heater* 85 °C.

Untuk menghitung laju aliran air pada untai primer sistem pasif BETA maka resistansi hidrodinamika tahanan total (R) harus diketahui. R terdiri dari variabel yang mempengaruhi laju aliran (D), luas permukaan pipa (A) pada sistem pasif BETA berdasarkan persamaan (2). Setelah semua diketahui maka dapat dihitung menggunakan persamaan dibawah ini:

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

Berdasarkan persamaan tersebut diperoleh nilai R sebesar $6,21574 \times 10^{18}$ meter⁻⁴. Nilai R di atas digunakan untuk menghitung laju alir fluida air berdasarkan persamaan (1) dimana densitas air di *heater* (ρ_h) dan di *cooler* (ρ_c) dihitung dari temperatur air yang telah diukur dan diperoleh nilai $4,86067 \times 10^{-7}$ kg/detik. Nilai tersebut merupakan nilai awal pada temperatur *heater* 85 °C sebelum terjadi penurunan. Perhitungan laju alir fluida kemudian dilanjutkan berdasarkan data temperatur pada Gambar 3 setelah terjadi penurunan. Gambar 4 menunjukkan hasil perhitungan laju alir fluida pendingin pada sisi primer sistem pasif BETA pada tahap awal hingga terjadi penurunan temperatur setelah *heater* dimatikan. Dari gambar tersebut air yang terjadi akibat adanya perubahan temperatur pada *heater*. Untuk mencari resistansi hidrodinamika, tahanan total (R) harus diketahui panjang perpipaan (L), koefisien gesek (K), diameter pipa juga terlihat penurunan laju alir fluida air yang disebabkan oleh kecilnya perbedaan temperatur air di *heater* dan *cooler* dari proses pendinginan setelah *heater* dimatikan.



Gambar 4. Grafik perhitungan laju alir fluida air pada sistem pasif BETA

KESIMPULAN

Berdasarkan data temperatur air pada sistem pasif BETA pada temperatur *heater* 85°C pada tahap awal diperoleh nilai laju alir fluida pendingin sebesar $4,86067 \times 10^{-7}$ kg/detik. Hasil perhitungan selanjutnya diperoleh kesimpulan bahwa semakin besar perbedaan temperatur fluida air antara *cooler* dan *heater* maka laju alir fluida air menjadi semakin cepat.

DAFTAR PUSTAKA

1. ANDHIKA FERI WIBISONO, YOONHAN AHNA, WESLEY C. WILLIAMS, YACINE ADDAD, JEONG IK LEE, "Studies Of Various Single Phase Natural Circulation Systems for Small and Medium Sized Reactor Design", Nuclear Engineering and Design 262 (2013) p. 390 – 403.
2. PIPING SUPRIATNA, "Analisis Komparasi Sistem Keselamatan Reaktor BWR Fukushima dan RGTT200k Akibat Gempa Bumi dan Tsunami", Seminar Nasional Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas
3. ENDIAH PUJI HASTUTI, "Belajar dari Fukushima: Analisis Keselamatan Inhere di RSG-GAS", Prosiding Seminar Nasional ke-17, Teknologi dan Keselamatan PLTN Serta Fasilitas Nuklir, Yogyakarta, 01 Oktober 2011, ISSN: 0854 - 2910.
4. P. SAHA, N. AKSAN, J. ANDERSEN, J. YAN, J.P. SIMONEAU, L. LEUNG, F. BERTRAND, K. AOTO, H. KAMIDE, "Issues and Future Direction of Thermal-Hydraulics Research and Development in Nuclear Power Reactors", Nuclear Engineering and Design 264 (2013) p. 3-23.
5. DOMENICO PALADINO, JORG DREIER, "Passive Containment Cooling System (PCCS) Response with Drywell Gas-Recirculation System (DGRS) Activated during a Severe Accident Scenario with Release of Non-Condensable Gas", Nuclear Engineering and Design 247 (2012) p. 212–220