

EFEK PERUBAHAN KETINGGIAN *COOLER* TERHADAP KECEPATAN ALIRAN AIR PADA SIMULASI SISTEM PASIF

Dian Ariswara¹, Sukmanto Dibyo², G.Bambang Heru², Mulya Juarsa²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor

²Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN), BATAN

ABSTRAK

EFEK PERUBAHAN KETINGGIAN *COOLER* TERHADAP KECEPATAN ALIRAN AIR PADA SIMULASI SISTEM PASIF. Kecelakaan reaktor nuklir di Fukushima Daiichi tahun 2011 akibat gempa bumi dan tsunami menyebabkan melelehnya teras reaktor dari kegagalan system keselamatan aktif. Untuk mengantisipasi hal tersebut sedang dikembangkan system keselamatan pasif yang bekerja secara sirkulasi alamiah. Salah satu fasilitas eksperimen mengenai sirkulasi alamiah adalah NC-QUEEN yang dikembangkan di PTKRN-BATAN. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh perubahan temperatur air terhadap densitas dan kecepatan aliran secara eksperimental dari adanya sirkulasi alamiah berdasarkan perbedaan ketinggian antara *heater* dan *cooler*, dimana ditetapkan 3 perbedaan ketinggian yaitu H1 = 1,4 meter, H2 = 1 meter, dan H3 = 0,3 meter. Hasil eksperimen menunjukkan adanya perubahan temperatur pada variasi ketinggian H1 dengan beda temperatur (ΔT) terbesar yaitu 41,46 °C akibat rambatan transfer panas dari *heater* ke *cooler* yang tidak maksimal sementara beda temperatur terkecil ditunjukkan pada variasi ketinggian H3 yaitu 37,1°C. Hasil perhitungan kecepatan rerata diperoleh 0,0000103601 m/detik untuk H-1; 0,00000619464 m/detik untuk H2, dan 0,0000018315 m/detik untuk H3. Dari eksperimen yang dilakukan diperoleh desain yang optimal untuk sistem pasif adalah pada ketinggian H1 antara *cooler* dan *heater*. Selain itu dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak antara *heater* dan *cooler* maka semakin besar nilai kecepatan rata-rata aliran air.

Kata kunci: perbedaan ketinggian, *cooler*, kecepatan aliran, sirkulasi alam.

ABSTRACT

EFFECT OF DIFFERENCE IN THE COOLER HEIGHT ON THE WATER FLOW VELOCITY IN THE PASSIVE SYSTEM SIMULATION. Nuclear reactor accident in Fukushima Daiichi in 2011 due to the earth quake and tsunami led to the failure of the reactor core caused by the failure of its active safety systems. To anticipate that event, a passive safety system with natural circulation has been being developed. One of experimental facility related to the natural circulation is the NC-QUEEN developed at PTKRN-BATAN. The purpose of this paper is to know the effect of fluid temperature change on the density and flow velocity experimentally from the onset of natural circulation based on the difference between the heater and the cooler, which are determined as H1 = 1,4 meter, H2 = 1 meter, dan H3 = 0,3 meter. The experiment results show a temperature change on H1 height difference with the highest temperature difference of 41,46 °C due to the slow heat transfer from the heater to the cooler. The smallest temperature difference is detected on the H3 with 37,1°C. The results of velocity calculation are 0.0000103601 m/sec for H1; 0.00000619464 m/sec for H2, and 0.0000018315 m/sec for H3. Based on the results, the optimum design for the passive system is on the H2 height difference between the cooler and the heater. It can be concluded that the more the distance between the heater and cooler, the bigger the average value of the water flow velocity.

Keywords: height difference, cooler, flow velocity, natural circulation.

PENDAHULUAN

Kecelakaan reaktor nuklir di Fukushima Daiichi pada 11 Maret 2011 akibat gempa bumi dan tsunami yang melanda Jepang menyebabkan lingkungan di pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN) tergenang air laut. Akibatnya terjadi *station blackout* (SBO), dimana *diesel generator* cadangan tidak dapat menghidupkan sistem keselamatan aktif untuk mendinginkan teras reaktor. PLTN Fukushima Daiichi merupakan reaktor tipe BWR Generasi 2 yang di dalamnya belum terdapat sistem keselamatan pasif, sehingga panas hasil peluruhan di teras reaktor tidak dapat dibuang ke system pengambilan panas sisa. Akibatnya terjadi penurunan inventori pendingin teras dari pembentukan uap dari panas peluruhan yang menyebabkan berkurangnya pendinginan bahan bakar teras secara memadai. Bahan bakar yang tidak terdinginkan akan memicu kerusakan kelongsong dan pada akhirnya terjadi pelelehan teras yang disertai terlepasnya produk fisi ke lingkungan. Salah satu pelajaran yang diambil dari peristiwa tersebut adalah diperlukannya sistem keselamatan pasif yang akan bekerja membantu membuang panas peluruhan teras akibat tidak berfungsinya sistem keselamatan aktif^[1,2].

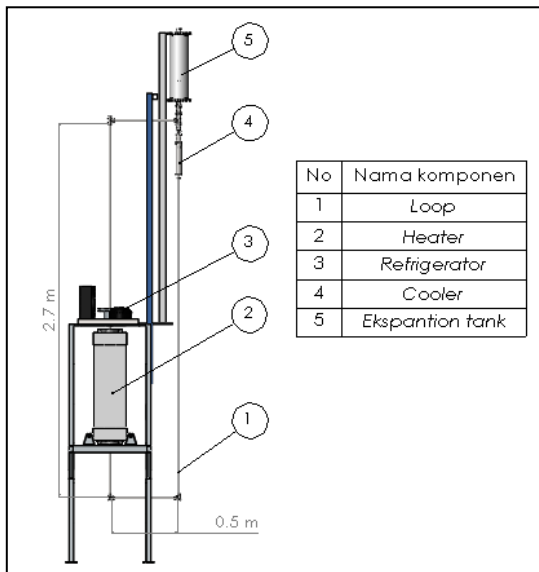
Sistem keselamatan pasif memiliki prinsip dasar proses konveksi alamiah atau sirkulasi alam (*natural circulation*). Fenomena sirkulasi alam yang disebabkan oleh perbedaan temperatur fluida. Salah satu sistem pasif yang sedang dikembangkan adalah PAFS (*Passive Auxiliary Feed Water System*).

PAFS adalah salah satu fitur keamanan canggih yang di adopsi dalam reaktor APR+ yang dapat meningkatkan keandalan sistem keamanan pada reaktor nuklir dan mengurangi kesalahan operator^[2,3,4]. Untuk meneliti sifat fluida air dalam suatu sistem tertutup yang bergerak secara sirkulasi alam, dibuatlah satu fasilitas eksperimen di Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN) – BATAN yang disebut sebagai NC-QUEEN.

Tujuan eksperimen dalam makalah ini adalah untuk mengetahui perbedaan temperatur dan kecepatan alir air dalam perpipaan di NC-QUEEN yang diakibatkan oleh variasi penempatan komponen *heater* dan *cooler* sebagai komponen penggerak sirkulasi secara alami. Dalam eksperimen ini ditetapkan 3 variasi ketinggian antara *heater* dan *cooler* yang disebut sebagai ketinggian H1, H2, dan H3.

FASILITAS PENELITIAN NC-QUEEN

Gambar 1 di bawah ini adalah desain NC-QUEEN yang digunakan sebagai fasilitas eksperimen sistem pasif. Di dalamnya terdapat beberapa komponen seperti perpipaan *tube* yang berguna untuk mengalirkan fluida kerja (air), *heater* berguna sebagai pemanas yang didistribusikan melalui *coil heater*, *cooler* berguna sebagai pendingin fluida dan bekerja secara konstan, dan tangki ekspansi sebagai tangki penampung uap yang dihasilkan oleh pemanasan fluida.



Gambar 1. Desain Untai Uji NC-QUEEN

TATA KERJA

Eksperimen dilaksanakan setelah menyiapkan bahan dan peralatan berikut:

Bahan:

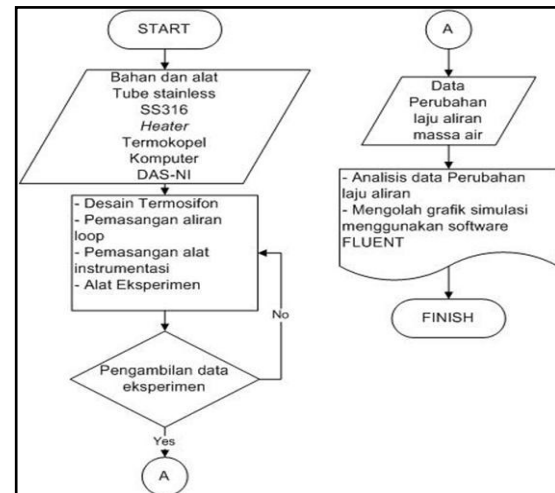
- Heater
- Tabung *flexy glass*
- Cooler
- Termokopel
- Tube SS316 (1inch, $\frac{3}{4}$ inch, $\frac{3}{8}$ inch)
- Elbow, Tee, Union.

Alat :

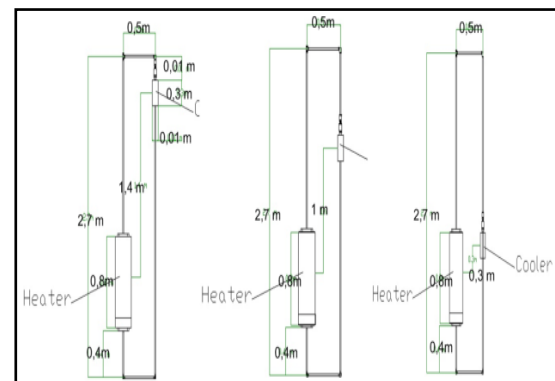
- NI (*National Instrument-DAQ 9213*)
- Komputer

Bahan dan alat di atas digunakan dalam tahapan-tahapan eksperimen seperti disajikan dalam *flow chart* pada Gambar 2.

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 3 dengan cara memindahkan posisi *cooler*.



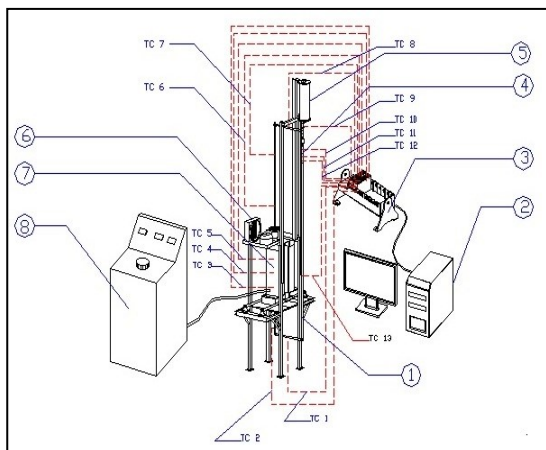
Gambar 2. Tahapan eksperimen yang dilakukan



Gambar 3. Variasi ketinggian cooler

Konfigurasi eksperimen menggunakan untai uji NC-QUEEN yang terdiri dari tube SS 316 (no. 1-4), komputer (no 2), NI-DAQ (no. 3), tangki ekspansi (no. 5), cooler (no 6), heater (no. 7), dan regulator voltage (no. 8) ditunjukkan pada Gambar 4. Cara kerja NC-QUEEN adalah dengan menghidupkan dan menaikkan daya regulator voltage untuk memanaskan heater sebagai pemanas fluida yang berada di dalam tube. Setelah temperatur yang diinginkan tercapai 90 °C listrik dimatikan, dan cooler dihidupkan untuk mendinginkan fluida air yang telah dipanaskan

oleh *heater*. *Cooler* berfungsi sebagai pendingin yang di dalamnya menggunakan fluida pendingin R134a. Data yang diperoleh dari hasil eksperimen adalah data temperatur pada beberapa titik termokopel yang terpasang di setiap titik *tube* SS316 dan direkam menggunakan *National Instrument Data Aquisi System* (NI-DAQ) dan disimpan di komputer.

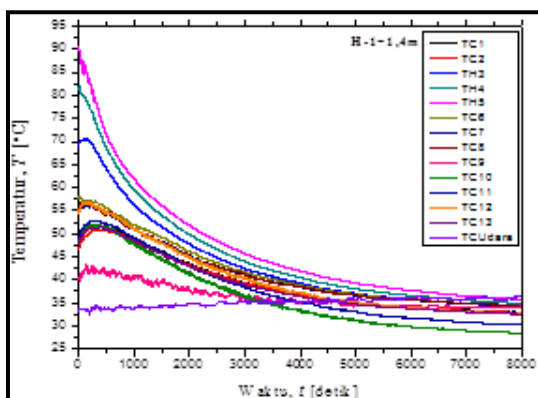


Gambar 4. Konfigurasi fasilitas eksperimen

HASIL DAN PEMBAHASAN

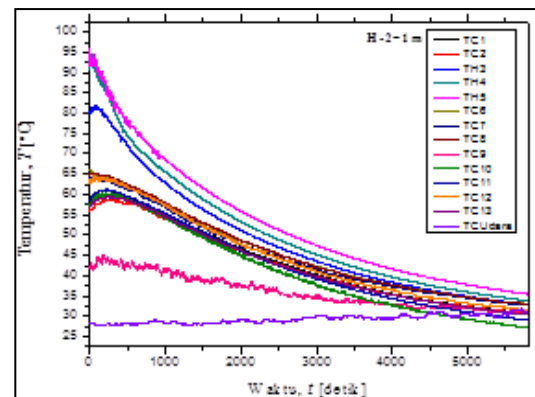
Perubahan temperatur air

Gambar 5 menunjukkan penurunan temperatur pada variasi ketinggian *cooler* H1 (1,4 meter).

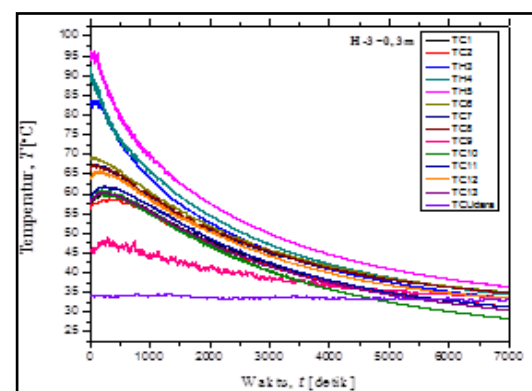


Gambar 5. Data penurunan temperatur pada ketinggian *cooler* H₁

Sementara Gambar 6 dan 7 menunjukkan data temperatur pada variasi ketinggian *cooler* H₂ (1 meter) dan H₃ (0,3 meter).



Gambar 6. Data penurunan temperatur pada ketinggian *cooler* H₂

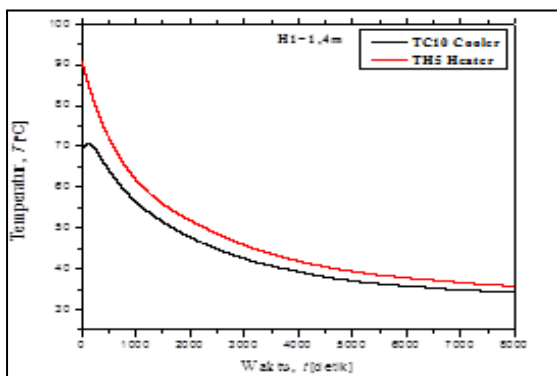


Gambar 7. Data penurunan temperatur pada ketinggian *cooler* H₃

Berdasarkan Gambar 5, Gambar 6 dan Gambar 7 di atas terlihat kenaikan temperatur pada setiap titik termokopel pada awal pengukuran. Kenaikan temperatur terjadi karena adanya kenaikan daya *heater* dengan menaikkan tegangan (Volt) setiap menit sekaligus variasi tegangan sebesar 30 Volt sampai daya maksimal dan temperatur mencapai 90°C. Setelah temperatur tersebut tercapai, daya dimatikan kemudian *cooler* dihidupkan untuk mendinginkan fluida air yang ada di dalam *loop* agar kembali seperti tem

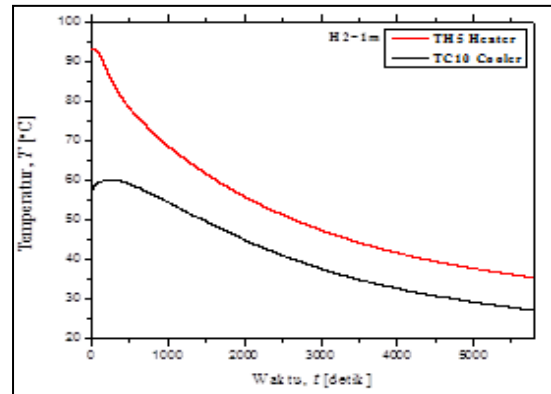
peratur awal sebelum *heater* dihidupkan. Perbedaan temperatur pada $H1=1,4$ m diperoleh beda temperatur (ΔT) terbesar $41,46^\circ\text{C}$ disebabkan rambatan transfer panas dari *heater* ke *cooler* yang tidak maksimal yang diakibatkan jarak antara *cooler* dan *heater*. Beda temperatur terkecil ditunjukkan pada variasi ketinggian $H3=0,3\text{m}$ yaitu $37,1^\circ\text{C}$, sedangkan pada variasi ketinggian $H2=1\text{m}$ diperoleh beda temperatur $37,9^\circ\text{C}$.

Perubahan temperatur air di *heater* di rekam pada termokopel TH5, perubahan temperatur di *cooler* direkam pada TC11. Data tersebut ditunjukkan pada Gambar8, Gambar 9 dan Gambar10 dengan variasi ketinggian *cooler*.



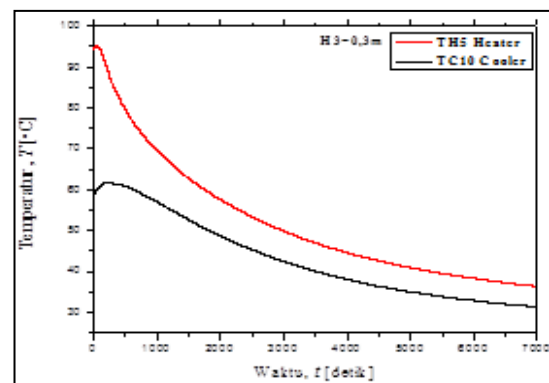
Gambar 8. Perubahan temperatur *heater* dan *cooler* pada H1 (1,4 meter).

Data temperatur air di *heater* dan *cooler* pada variasi H1 menunjukkan kenaikan temperatur pada *heater* 90°C dengan waktu kenaikan 1764 detik. Gambar 9 menunjukkan data temperatur *heater* dan *cooler* variasi ketinggian *cooler* H2 yang menunjukkan kenaikan temperatur 93°C dengan waktu kenaikan 1268 detik.



Gambar 9. Perubahan temperatur *heater* dan *cooler* pada H2 (1 meter)

Pada gambar tersebut terlihat proses penurunan temperatur variasi ketinggian *cooler* H2 yang terjadi lebih cepat karena titik tengah antara *cooler* dan *heater* 1meter.



Gambar 10. Perubahan temperatur *heater* dan *cooler* pada H3 (0,3 meter)

Gambar 10 menunjukkan data temperatur *heater* dan *cooler* pada variasi ketinggian *cooler* H3 yang menunjukkan kenaikan temperatur dengan waktu kenaikan 1087 detik. Hal tersebut terjadi karena ketinggian *cooler* sejajar dengan *heater* yang menyebabkan pemerataan distribusi temperatur.

Kecepatan Rata-rata Aliran Air

Data hasil perhitungan densitas air pada *heater* (ρ_h) dan *cooler* (ρ_c) digunakan untuk menghitung laju aliran pada *loop* NC-QUEEN akibat perubahan ketinggian *cooler*. Densitas air diperoleh dari perhitungan menggunakan persamaan:

$$P(T) = 1000,07 + 0,0093.T + 0,00602.T^2 + 0,0000162.T^3$$

Yang mempengaruhi kecepatan aliran adalah diameter *tube*, panjang *loop*, viskositas dan perbedaan densitas di *heater* (ρ_h) dan *cooler* (ρ_c). Untuk menghitung kecepatan aliran digunakan persamaan di bawah ini [5]:

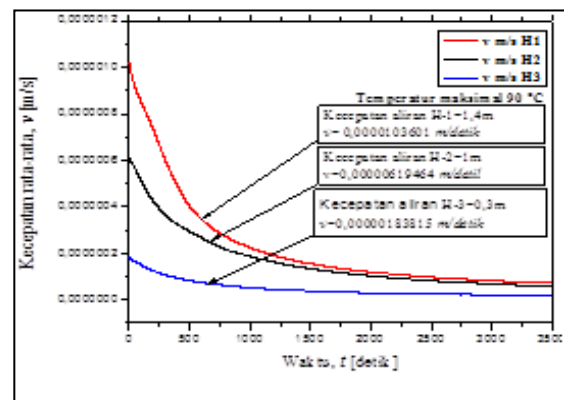
$$v = \frac{-64\mu L + \sqrt{(64\mu L)^2 + 8gHK\rho D^4(\rho_c - \rho_h)}}{2K\rho D^2}$$

di mana L adalah panjang *Loop*, dan H adalah parameter ketinggian yang divariasikan.

Data hasil eksperimen berupa perbedaan temperatur air pada ketinggian H1, H2 dan H3 digunakan untuk memperoleh nilai densitas air dan variabel lain sesuai persamaan di atas untuk menghitung laju aliran rata-rata air saat proses penurunan temperatur. Dengan demikian variabel yang harus diketahui adalah:

- Panjang total *loop* (L) = 6,4m
- Diameter *loop* (D) = 0,016m
- Luas penampang *loop* (A) = 200,96m²
- Beda ketinggian (H) *heater-cooler*
- Koefisien gesek (K) = 0,015
- Densitas air di *heater* = 964,7262 kg/m³
- Densitas air di *cooler* = 988,5692 kg/m³
- Viskositas = 395,3902 kg/m.detik

Hasil perhitungan kecepatan aliran rata-rata pada ketinggian *cooler* H1 diperoleh kecepatan 0,0000103601 m/detik. Perhitungan kecepatan aliran rata-rata pada ketinggian *cooler* H2 diperoleh hasil kecepatan aliran H2=0,00000619464 m/detik pada temperatur 90 °C, dan menurun hingga 0,000000381039 m/detik pada saat temperatur kembali normal pada 35 °C. Pada ketinggian *cooler* H3 diperoleh kecepatan aliran 0,0000018315 m/detik pada temperatur 90 °C, dan menurun hingga 0,0000000762268 m/detik pada saat temperatur kembali normal pada 35 °C. Gambar 11 menunjukkan hasil perhitungan kecepatan aliran air pada variasi ketinggian *cooler* H1, H2, dan H3.



Gambar 11. Grafik kecepatan rata-rata air pada ketinggian *cooler* H1, H2, H3

Visualisasi FLUENT

Visualisasi dengan menggunakan *software* FLUENT dilakukan untuk mengetahui dan menggambarkan keadaan saat eksperimen. Simulasi dilakukan untuk mengetahui proses pemanasan hingga pendinginan pada saat *heater* dimatikan dan *cooler* mulai dihidupkan. Salah satu hasil dari simulasi dengan menggunakan FLUENT seper-

ti ditunjukkan pada Gambar 12.



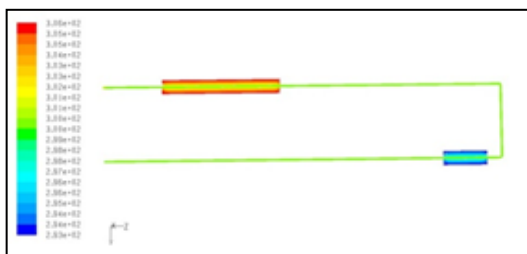
Gambar 12. Perubahan temperatur air 90°C

Gambar 12 menunjukkan keadaan fluida air di dalam *loop* pada temperatur 90 °C. Kondisi warna merah ke orangan menggambarkan fluida air di dalam *loop* yang panas disebabkan proses pemanasan oleh *heater*. Proses pemanasan ini dilakukan dengan lama pemanasan 20 – 30 menit.



Gambar 13. Perubahantemperatur air 43 °C.

Gambar13 menunjukkan kondisi temperatur air pada waktu 5400 detik setelah *cooler* mulai di hidupkan, dimana temperatur air di dalam *tube* menurun dari 90°C sampai 43,1°C.



Gambar 14. Perubahan temperatur air 35 °C

Gambar 14 menunjukkan kondisi temperatur pada waktu 9878 detik atau saat temperatur air mencapai 35°C. Proses penurunan temperatur air yang terjadi pada *loop* NC-QUEEN membutuhkan waktu 8114 detik dari temperatur tertinggi 90,4°C menurun sampai 35,6 °C. Hasil simulasi di atas hanya untuk visualisasi kondisisaat eksperimen dan tidak ada hubungan langsung dengan perhitungan kecepatan aliran.

KESIMPULAN

Karakteristik perubahan temperatur pada *loop* variasi ketinggian *cooler* H1 diperoleh beda temperatur (ΔT) terbesar 41,46 °C yang disebabkan rambatan transfer panas dari *heater* ke *cooler* yang tidak maksimal akibat jarak antara *cooler* dan *heater* yang besar. Beda temperatur terkecil ditunjukkan pada variasi ketinggian H3 yaitu 37,1 °C, sedangkan pada variasi ketinggian H2 diperoleh beda temperatur 37,9 °C. Hasil perhitungan kecepatan rerata aliran menunjukkan nilai kecepatan optimal untuk simulasi sistem pasif pada ketinggian H1 dengan kecepatan rerata 0,0000103601 m/detik. Secara umum dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak antara *heater* dan *cooler* maka semakin besar nilai kecepatan rata-rata aliran air yang bergerak secara alami.

DAFTAR PUSTAKA

1. T. ISHIGURO,et al, "Design of a Passive Residual Heat Removal System for The FUJI-233 Molten Salt Reactor System", *Annals of Nuclear Energy*, 64 (2011) 398-407.

2. YOGI SIRODZ GAOS, dkk, "Efek Perubahan Sudut Kemiringan Terhadap Perpindahan Kalor dan Laju Aliran Air pada Untai Sirkulasi Alamiah", *Tri Dasa Mega*, 14 (2012) 39-53.
3. SETH KOFI DEBRAH, et al, "Discussion on The Stability of Natural Circulation Loops with Supercritical Pressure Fluids", *Annals of Nuclear Energy* 54 (2013) 47-57.
4. SEOK KIM, et al, "An Experimental Study on The Validation of Cooling Capability for The Passive Auxiliary Feedwater System (PAFS) Condensation Heat Exchanger", *Nuclear Engineering and Design* 260 (2013) 54-63.
5. JONGHO CHOI et al, "Improvement in Understanding of Natural Circulation Phenomena in Water Cooled Nuclear Power Plants", *Nuclear Engineering and Design* 241 (2011) 4504-4514.