

DISTRIBUSI TEMPERATUR SAAT PEMANASAN DAN PENDINGINAN PERMUKAAN *SEMI-SPHERE* HeaTING-03 BERDASARKAN TEMPERATUR AWAL

Keis Jury Pribadi¹, G. Bambang Heru², Ainur Rosidi², Mulya Juarsa^{1,2}

¹Laboratorium *Engineering Development for Energy Conversion and Conservation* (EDfEC)
Program Studi Teknik Mesin Fakultas Ibn Khaldun Bogor

²Laboratorium Termohidrolika Eksperimental Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir
(PTKRN) - BATAN

ABSTRAK

DISTRIBUSI TEMPERATUR SAAT PEMANASAN DAN PENDINGINAN PERMUKAAN *SEMI-SPHERE* HeaTING-03 BERDASARKAN TEMPERATUR AWAL. Kecelakaan PLTN *Three Mile Island* Unit 2 (TMI-2) yang mengakibatkan teras meleleh telah mendorong para peneliti untuk meneliti interaksi antara lelehan teras dengan dinding bejana tekan reaktor bagian bawah. Penelitian ini dimaksudkan mempelajari karakteristik perpindahan kalor antara lelehan teras reaktor yang membentuk geometri *semi-sphere* dengan bagian bawah bejana tekan reaktor. Eksperimen dilakukan dengan menggunakan fasilitas eksperimen Bagian Uji HeaTING-03. Tujuan eksperimen adalah mengkarakterisasi distribusi temperatur di permukaan *semi-sphere* selama pemanasan dan pendinginan secara radiasi dengan temperatur awal 100 °C, 200 °C, dan 300 °C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanasan dan pendinginan pada 9 titik pengukuran temperatur oleh termokopel pada permukaan *semi-sphere* memiliki kurva kenaikan dan penurunan yang berbeda. Berdasarkan penelitian awal ini dapat disimpulkan bahwa pemanasan dan pendinginan belum begitu seragam.

Kata kunci: distribusi, *semi-sphere*, perpindahan kalor, temperatur

ABSTRACT

TEMPERATURE DISTRIBUTION DURING HEATING AND COOLING IN HeTING-03 SEMI-SPHERE SURFACE BASE ON INITIAL TEMPERATURE. The accident of *Three Mile Island* nuclear power plant Unit 2 (TMI2) resulted in a core meltdown, which initiated researcher to examine the interaction between molten debris with the bottom of the reactor pressure vessel. This paper is intended to study the characteristics of heat transfer between the molten debris forming a *semi-sphere* geometry with the bottom of the reactor pressure vessel by experiment. The experiment has been done using the Heating-03 Test Section facility. The experiment was aimed to characterize the temperature distribution along the surface of *semi-sphere* during heating and cooling by radiation at the initial temperature of 100 °C, 200 °C, and 300 °C. The result of experiment shows that that the heating and cooling process in the 9 temperature measurement point on the surface of *semi-sphere* using thermocouples has an up and down curve in different characteristics. Based on this preliminary study, it can be concluded that the heating and cooling process were not uniform yet.

Keywords: distribution, *semi-sphere*, heat transfer, temperature

PENDAHULUAN

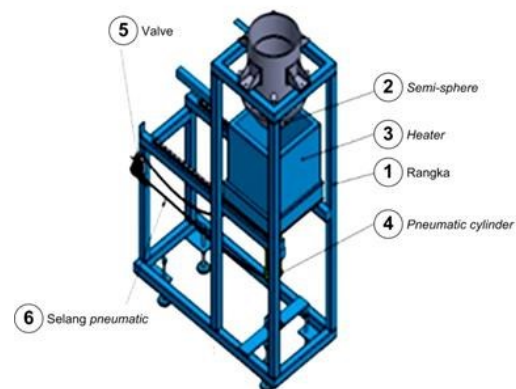
Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir (PLTN) adalah salah satu pilihan untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat. Penggunaan energi nuklir untuk PLTN memiliki potensi bahaya terkait dihasilkannya bahan radioaktif. Untuk itu aspek keselamatan adalah hal yang paling penting dalam suatu PLTN. Dalam sejarah pengoperasian PLTN, ada beberapa kecelakaan PLTN di dunia salah satunya adalah kecelakaan PLTN *Three Mile Island* Unit-2 (TMI-2) yang mengakibatkan pelelehan teras reaktor [1, 2]. Kejadian tersebut mendorong para peneliti dunia untuk meneliti fenomena yang terjadi hingga melelehnya teras reaktor TMI-2, sehingga dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan keselamatan PLTN yang sejenis.

Salah satu penelitian yang masih dilakukan pada saat ini adalah masalah yang berhubungan dengan interaksi antara lelehan teras reaktor (debris) dengan dinding bejana bagian bawah. Dari aspek termohidrolikanya perpindahan kalor yang terjadi pada bagian debris perlu dipelajari lebih mendalam. Pemahaman perilaku kalor pada bagian debris yang berbentuk *semi-sphere* (setengah bola) penting dilakukan sebelum eksperimen selanjutnya. Analisa fluks kalor selama pemanasan dan pendinginan secara radiasi perlu dilakukan sebagai langkah awal untuk menjadi acuan dalam proses pemanasan dan pendinginan tanpa air. Sehingga tujuan dari penelitian ini dititik beratkan pada pemahaman distribusi temperatur pada pemanasan dan pen-

dinginan di dinding bergeometri *semi-sphere* secara radiasi menggunakan bagian uji HeaTiNG-03 (*Heat Transfer in Narrow Gap*). Dari eksperimen tersebut akan diketahui karakteristik temperatur pemanasan kondisi *steady state* dan transien secara radiasi pada bagian *semi-sphere* berdasarkan temperatur awal yang berbeda.

TEORI

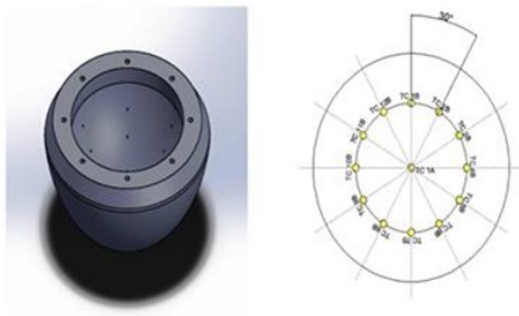
Penelitian ini dilakukan menggunakan metode eksperimental pada alat uji HeaTiNG-03, dan didukung oleh beberapa peralatan seperti termokopel, NI-cDAQ9188 dan komputer sebagai alat perekam data hasil eksperimen.



Gambar1. Alat uji eksperimental HeaTiNG-03

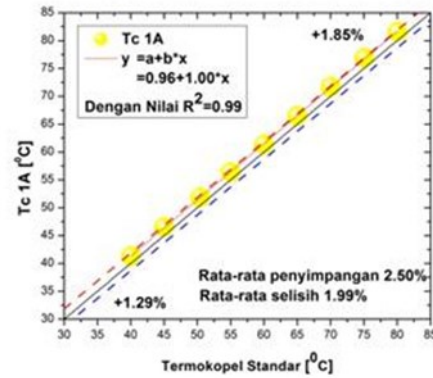
Alat uji HeaTiNG-03 merupakan alat uji yang digunakan untuk eksperimen kecelakaan parah di Laboratorium Termohidrolika Eksperimental Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir (PTKRN). Alat tersebut bertujuan mempelajari fenomena karakteristik perpindahan kalor pendidihan pada celah sempit yang berbentuk *semi-sphere* seperti ditun-

jukkan pada Gambar 1. Komponen HeaTiNG-03 terdiri dari bejana uji berbentuk *semi-sphere*, *heater*, *pneumatic cylinder*, dan selang *pneumatic*. Untuk mengukur temperatur bejana uji dengan geometri *semi-sphere*, digunakan termokopel tipe K yang terdiri dari dua kawat *chromel* dan *alomel*. Pada bagian dalam bejana uji bergeometri *semi-sphere* terdapat 9 titik termokopel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Titik termokopel pada bejana uji bergeometri *semi-sphere*

Sebelum termokopel digunakan perlu dikalibrasi, yang bertujuan untuk menjamin hasil-hasil pengukuran sesuai dengan standar. Setelah kalibrasi dilakukan maka data kalibrasi diolah untuk mendapatkan tingkat kesalahan (*error*) dari termokopel yang telah dikalibrasi. Gambar 3 menunjukkan kurva hasil kalibrasi dari salah satu termokopel yang digunakan terhadap termokopel standar.



Gambar 3. Kurva hasil kalibrasi salah satu termokopel

Dari Gambar 3 terlihat adanya selisih *error* terbesar 1,85%, dan terkecil 1,29%. Rata-rata selisih adalah 1,99% sehingga termokopel tersebut dapat digunakan untuk pengukuran.

Untuk merekam data hasil eksperimen digunakan alat perekam data NI-cDAQ 9188 yang terhubung pada termokopel dengan fungsi sebagai pengukur temperatur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Alat perekam data NI-CDAQ 9188 untuk mengukur temperatur termokopel

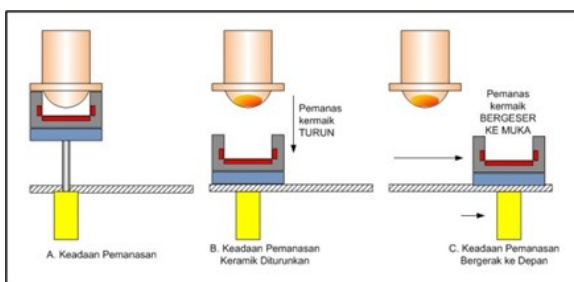
TATA KERJA

Gambar 5 menunjukkan tata letak peralatan eksperimen yang dilakukan dalam penelitian ini.



Gambar 5. Tata letak eksperimen pemanasan bundel uji *semi-sphere*

Eksperimen dilakukan dengan terlebih dahulu memanaskan bejana uji *semi-sphere* dengan cara menaikkan daya *heater* secara bertahap menggunakan *regulator volt*. Kemudian ketika temperatur tercapai, daya listrik dimatikan. Tahapan proses pemanasan di atas ditunjukkan pada Gambar 6.

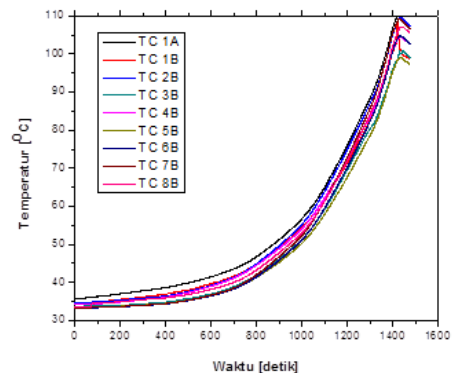


Gambar 6. Tahapan proses pemanasan bagian uji *semi-sphere* ^[4]

Perubahan temperatur pada bejana uji *semi-sphere* akan diukur oleh 9 termokopel dan direkam oleh alat NI-cDAQ 9188. Hasil perekaman akan dikirim ke komputer dan ditampilkan sehingga dapat dianalisis lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

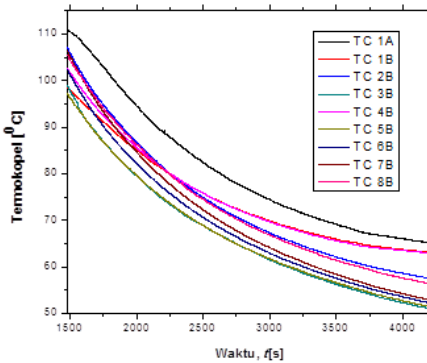
Data hasil eksperimen dari bejana uji bergeometri *semi-sphere* berupa perubahan temperatur hasil uji pemanasan dan pendinginan yang diambil setiap detik. Data yang diperoleh merupakan data kondisi *steady state* dan transien temperatur selama proses pemanasan dan pendinginan yang disajikan sebagai nilai perubahan temperatur terhadap waktu untuk variasi temperatur awal. Pada eksperimen ini ditetapkan 3 temperatur awal yang berbeda yaitu 100 °C, 200 °C, 300 °C. Dari data yang didapat dibuatlah karakteristik perubahan temperatur pada proses pemanasan dan pendinginan seperti ditunjukkan pada Gambar 7 hingga 12.



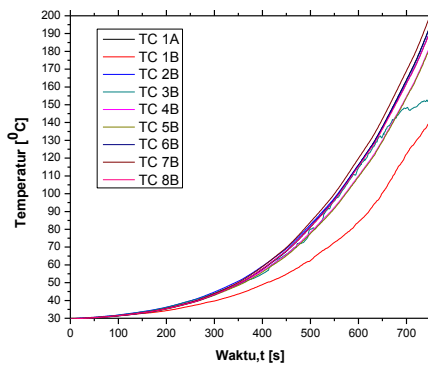
Gambar 7. Grafik kenaikan temperatur untuk temperatur awal 100 °C

Gambar 7 menunjukkan grafik kenaikan temperatur yang tercatat pada 9 termokopel untuk temperatur awal 100 °C. Terlihat adanya karakteristik yang sama untuk setiap titik termokopel pada proses kenaikan temperatur. Pada proses pendinginan terlihat adanya karakteristik penurunan temperatur yang ber-

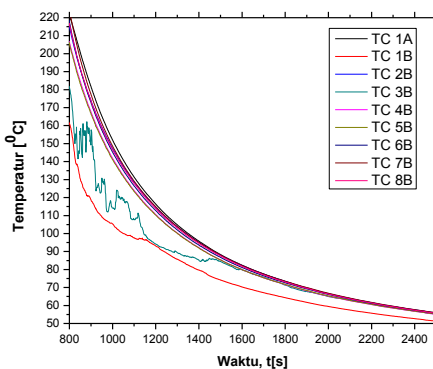
beda untuk setiap titik termokopel seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik penurunan temperatur pada temperatur awal 100 °C

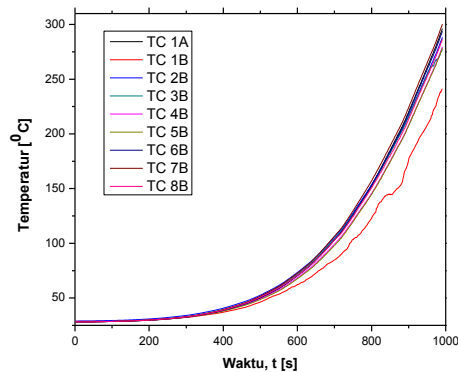


Gambar 9. Grafik kenaikan temperatur pada temperatur awal 200 °C



Gambar 10. Grafik penurunan temperatur pada temperatur awal 200 °C

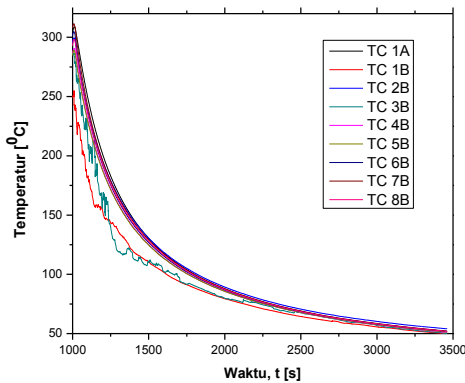
Gambar 9 menunjukkan grafik kenaikan temperatur pada 9 termokopel untuk temperatur awal 200 °C. Terlihat karakteristik perubahan temperatur yang hampir sama kecuali untuk termokopel TC 8B yang terlihat tidak merata. Gambar 10 menunjukkan grafik penurunan temperatur setelah tercapainya temperatur awal di atas, dimana terlihat penurunan temperatur pada 2 termokopel yang tidak merata yaitu TC 3B dan TC 8B. Termokopel TC 3B menunjukkan penurunan yang tidak sama dengan pengukuran pada Gambar 8, yang disebabkan oleh slot NI yang sudah renggang. Perbedaan penurunan temperatur pada termokopel TC 8B disebabkan oleh lamanya proses pemanasan yang mempengaruhi proses penurunan selanjutnya dan berbeda dengan termokopel lainnya.



Gambar 11. Grafik kenaikan temperatur pada temperatur awal 300 °C

Gambar 11 menunjukkan grafik kenaikan temperatur pada temperatur awal 300 °C. Terlihat karakteristik kenaikan yang hampir sama untuk semua termokopel kecuali pada

termokopel TC 8B. Hal itu disebabkan oleh posisi termokopel tersebut yang berada di bagian atas titik termokopel sehingga kenaikannya terlambat.



Gambar 12. Grafik penurunan temperatur pada temperatur awal 300 °C

Sedangkan grafik penurunan temperatur pada Gambar 12 menunjukkan penurunan temperatur yang hampir merata kecuali untuk 2 termokopel yaitu TC 3B dan TC 8B. Penyebab perbedaan pada termokopel TC 3B dan TC 8B diakibatkan oleh akibat yang sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9 dan 10 untuk temperatur awal 200 °C.

KESIMPULAN

Berdasarkan eksperimen distribusi temperatur *steady state* dan transien selama proses pemanasan dan pendinginan pada geometri *semi-sphere* dengan temperatur awal yaitu 100 °C, 200 °C, 300 °C diperoleh hasil yang berbeda selama proses pemanasan dan pendinginan. Pada proses pemanasan, karakteristik kenaikan temperatur menunjukkan hasil yang hampir sama untuk semua titik pengukuran. Pada proses pendingi-

nan diperoleh karakteristik penurunan temperatur yang berbeda yang disebabkan oleh proses pendinginan menggunakan udara.

DAFTAR PUSTAKA

1. BROUGHTON, JAMES M., P. KUAN, A. DAVID, PETTI, AND E. L. TOLMAN, "A Scenario of the Three Mile Island Unit 2 Accident", Nuclear Technology, 87 (1) (1989) p.34-53.
2. K. HASHIMOTO dkk, "Thermal And Stress Of The Reactor Pressure Vessel Of The Thermal Exposure To The Three Mile Island Unit 2 Reactors Lower Head, Material Characterization", Elsevier, Japan 22-40. vol 36, issues 4-5, 1996 pp 184-186
3. F. GEOGRE, "Metallographic Assessment Of The Thermal Exposure To The Three Mile Island Unit 2 Reactor Lower Head, Material Characterization", Elsevier. Volume 36, issues 4-5, 1996 pp 184-186, 2005
4. MULYA JUARSA, "Studi Perpindahan Kalor pada Celah Sempit (Geometri Setengah Bola)", Laporan Program Insentif Riset Dasar (PIRD), Kementerian Negara Riset dan Teknologi, Tahun Anggaran 2009.