

## **Distribusi Temperatur Dua-dimensi pada Pelat Rektanguler Selama Pemanasan Radiasi menggunakan Bagian Uji HeaTiNG-02**

Iwan Kurniawan<sup>1</sup>, Mulya Juarsa<sup>1,2</sup>, Susyadi<sup>2</sup>, Yogi Sirodz Gaaos<sup>1</sup>, Edi Marzuki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Engineering Development for Energy Conversion and Conservation (EDfEC) Research Laboratory*

Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor

Jl. KH. Soleh Iskandar Bogor16163

[Iwan\\_kurniawan\\_0306@yahoo.com](mailto:Iwan_kurniawan_0306@yahoo.com)

<sup>2</sup>Laboratorium ThermohidrolikaEksperimental PTRKN BATAN

Kawasan PUSPIPTEK SerpongTangerang Selatan

### **Abstrak**

HeaTiNG-02 (Heat Transfer in Narrow Gap) merupakan bagian uji eksperimen celah sempit yang terjadi pada kecelakaan nuklir seperti di Three Mile Island Unit 2 (TMI-2), Amerika Serikat, tahun 1979 dan kejadian di Chernobyl, Ukraina, tahun 1986. Kecelakaan terjadi karena tidak bekerjanya sistem pendingin reaktor, mengakibatkan kecelakaan parah (severe accident), interaksi antara lelehan teras di bagian bawah bejana dengan dinding bejana reaktor karena adanya celah sempit yang terisi fluida. Salah satu eksperimen dasar HeaTiNG-02 yaitu, untuk mengetahui distribusi temperatur pada pelat rektanguler secara dua-dimensi terhadap sumbu koordinat  $x$ ,  $y$ . Penelitian dilakukan secara teliti dengan menganalisis proses perpindahan kalor dua-dimensi pada pelat rektanguler SS316 dari pemanas selama pemanasan radiasi. Metode yang dilakukan meliputi, pemanasan alat uji HeaTiNG-02 dilakukan secara bertahap dengan kenaikan daya 20 volt per 20 menit, sampai didapat temperatur akhir eksperimen yaitu 200°C sampai 500°C. Pengumpulan data kenaikan temperatur pelat rektanguler dengan pembacaan termokopel pada 30 titik yang berbeda berdasarkan pemberian temperatur pemanas yang diubah-ubah sesuai kebutuhan eksperimen. Melakukan analisis perhitungan perpindahan kalor dua dimensi secara analitik sebagai pembanding dari hasil eksperimen. Membuat grafik kenaikan temperatur terhadap waktu untuk setiap posisi termokopel, berdasarkan data-data yang telah didapat dari hasil eksperimen. Berdasarkan grafik tersebut kemudian di analisis menggunakan program Origin v.8.0, maka didapatkan persamaan polynomial orde 2. Membuat grafik penyimpangan kenaikan temperatur eksperimen terhadap berdasarkan waktu. Berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan, bahwa distribusi temperatur dua-dimensi pada pelat rektanguler mengarah dari inti pelat rektanguler ke titik terluar, karena titik terluar dipengaruhi perpindahan kalor konveksi dari temperatur udara sekitar. Korelasi kenaikan temperatur yang dihasilkan dalam bentuk eksponensial grow 2, penyimpangan terbesar antara temperatur analitik terhadap temperatur eksperimen terjadi pada eksperimen temperatur akhir 500°C, pada titik-titik termokopel TC-2A 172%, TC-2B 181%, TC-2C 176%. Persamaan analitik kenaikan temperatur dua-dimensi pada kondisi steady state pada satu titik tidak sesuai dengan hasil eksperimen, karena perpindahan kalor yang terjadi adalah perpindahan kalor terbagi rata.

**Kata-kata kunci:** distribusi, temperatur, dua-dimensi, pelat rektanguler, radiasi.

### **Pendahuluan**

Energi merupakan kebutuhan pokok dalam kelangsungan hidup manusia modern, diperkirakan beberapa tahun mendatang terjadi krisis energi. Pemanfaatan energi baru, pemerintah berencana membangun PLTN, tetapi masih kita ingat potensi bahaya nuklir seperti, kecelakaan di Three Mile Island

Unit 2 (TMI-2), Amerika Serikat, tahun 1979 dan kejadian di Chernobyl, Ukraina, tahun 1986 (Guy Gugliotta, J. Zhang et al, 2002). Kecelakaan terjadi karena adanya celah sempit hasil lelehan teras dengan dinding bejana reaktor. HeaTiNG-02 (*Heat Transfer in Narrow Gap*), merupakan bagian uji yang digunakan untuk simulasi eksperimen kecelakaan parah yang membentuk celah sempit antara lelehan

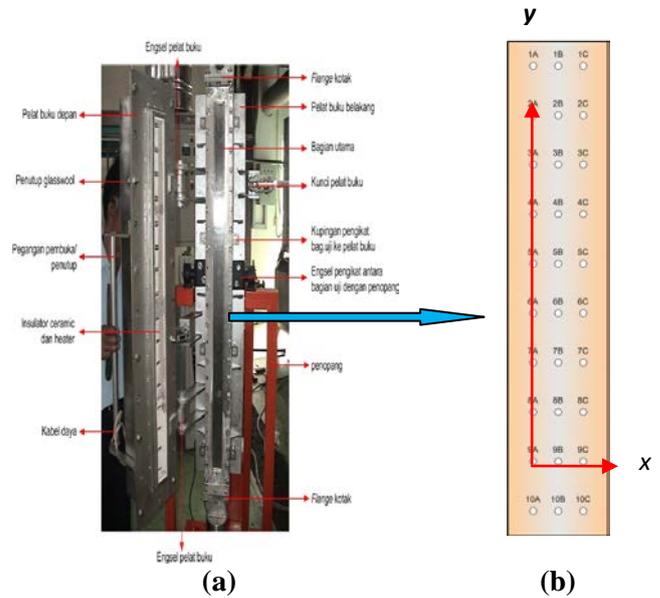
teras di bagian bawah bejana dengan dinding bejana reaktor nuklir. Beberapa penelitian terkait keselamatan nuklir seperti yang telah dilakukan oleh F. Tanaka, J. Zhang, M. Juarsa, K. Mishima (M. Murase et al) kurva pendidihan pada waktu pembasahan ulang dinding, menjelaskan evaluasi CHF pada perpindahan kalor pada celah sempit berdasarkan data eksperimen M. Juarsa. Perpindahan kalor pada celah sempit oleh M. Murase et al (M. Juarsa dan A.R. Antariksawan), menjelaskan penurunan korelasi perpindahan kalor pada celah sempit. Studi eksperimental *quenching* pada celah sempit oleh M. Juarsa dan Antariksawan (Poulikakos, D), menjelaskan pengaruh batasan aliran berlawanan arah (CCF) pada perpindahan panas pendidihan dalam celah sempit. Paper HeaTiNG-02 ini mempunyai tujuan memperoleh karakteristik kenaikan temperatur hasil perhitungan analitik, karakteristik kenaikan temperatur hasil eksperimen, profil distribusi temperatur dua-dimensi dan satu-dimensi berdasarkan hasil eksperimen, nilai penyimpangan kenaikan temperatur.

**Metode Eksperimen dan Fasilitas Yang Digunakan**

Eksperimen dimulai dengan memanaskan *heater*, daya *heater* dinaikan secara bertahap menggunakan voltage regulator, dengan variasi kenaikan tegangan masuk *heater* 20V/20 menit sampai tercapai temperatur akhir eksperimen. Data kenaikan temperatur setiap termokopel selama pemanasan direkam sampling 1 data per-detik pada 24 kanal oleh sistem akuisisi data (DAS) WinDAQ T1000, data tersebut diolah menggunakan software Origin v.8.0 diplot dalam bentuk kurva kenaikan temperatur dan distribusi temperature dua-dimensi untuk setiap posisi termokopel. Eksperimen dilakukan berulang-ulang dengan variasi temperatur akhir eksperimen 100°C, 200°C, 300°C, 400°C, 500°C, dalam makalah ini hanya menampilkan 200°C dan 500°C.

Fasilitas eksperimen yang ada di laboratorium Termohidrolika Eksperimental PTRKN BATAN di kawasan Puspitek Serpong Tangerang, salah satunya HeaTiNG-02, telah dikonstruksi pada tahun 2008. Deskripsi layout eksperimen HeaTiNG-02, ditunjukkan pada Gambar 1. HeaTiNG-02 dibuat dalam bentuk pelat rektangular SS316 yang dipasang vertical, dipasang 30 susunan termokopel matrik 3x10. bagian uji HeaTiNG-02 berdimensi panjang 1100 mm, lebar 50 mm, ditunjukkan pada Gambar 2.

**Gambar 1** Layout-Eksperimen H2



**Gambar 2** HeaTiNG-02 dan susunan termokopel

**Perhitungan**

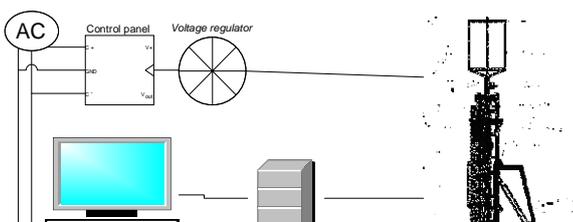
Hasil pengamatan kenaikan temperatur eksperimen disubstitusikan ke persamaan distribusi temperatur dua-dimensi pada pelat vertikal (Poulikakos D,1994), seperti ditunjukkan persamaan sebagai berikut:

$$T(x, y) = T_{\infty} + \frac{4(T_0 - T_{\infty})}{\pi} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1) \sinh \left[ \frac{(2n+1)\pi H}{b} \right]} \times \sin \left[ \frac{(2n+1)\pi x}{b} \right] \sinh \left[ \frac{(2n+1)\pi y}{b} \right] \quad (2)$$

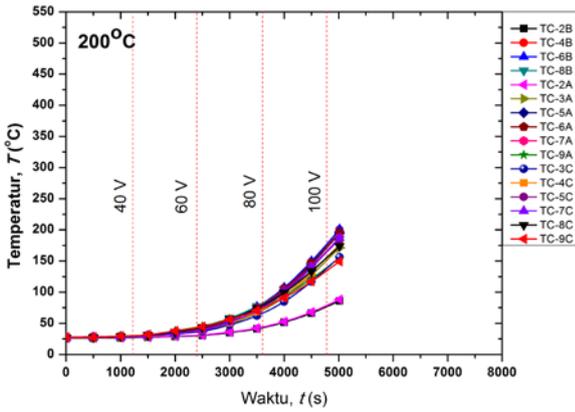
**Hasil dan Pembahasan**

**Kenaikan temperatur Eksperimen**

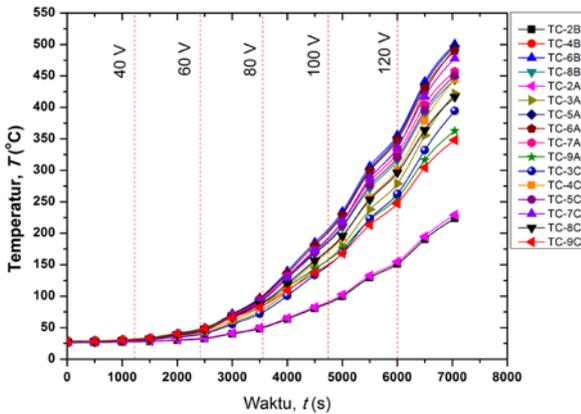
Kenaikan temperatur yang direkam pada 24 kanal DAS, diplot dalam bentuk grafik kenaikan temperatur eksperimen menggunakan program Origin V.8.0. Fenomena kenaikan temperatur untuk setiap



temperatur akhir eksperimen terdapat beberapa kesamaan, dijelaskan sebagai berikut: (a) kenaikan temperatur mulai terlihat signifikan mulai detik ke-2500 dengan daya heater berkisar 800 W pada tegangan masuk 60V, (b) kenaikan temperatur terbesar berada pada posisi termokopel yang mendekati titik tengah pelat. Grafik kenaikan temperatur eksperimen untuk setiap temperatur akhir eksperimen ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Kurva kenaikan temperatur eksperimen vs waktu untuk setiap termokopel



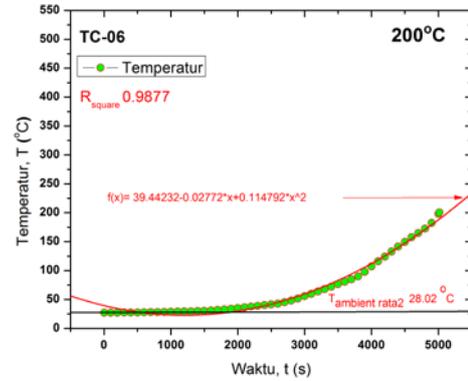
Gambar 3 Kurva kenaikan temperatur eksperimen vs waktu untuk setiap termokopel

**Pembahasan**

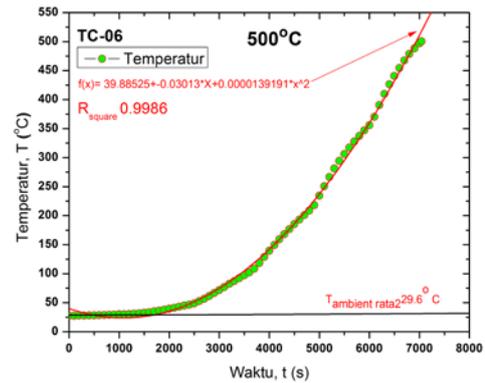
**Korelasi kenaikan temperatur eksperimen**

Gambar kenaikan temperatur eksperimen yang ditunjukkan pada Gambar 2 dipisahkan setiap termokopel, lalu dianalisis menggunakan program Origin V.8.0, sehingga diperoleh korelasi kenaikan temperatur berupa eksponensial grow 2. Gambar

kurva karakteristik kenaikan temperatur eksperimen vs waktu ditunjukkan pada Gambar 4.

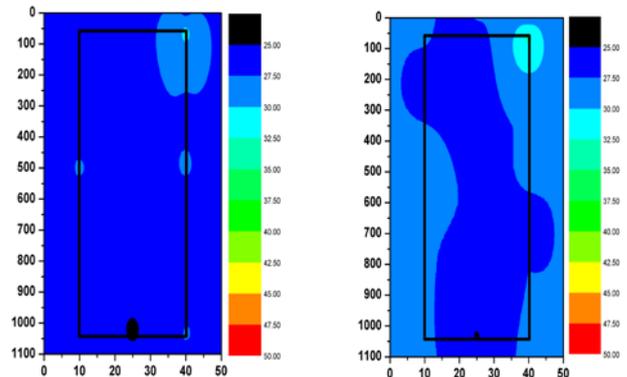


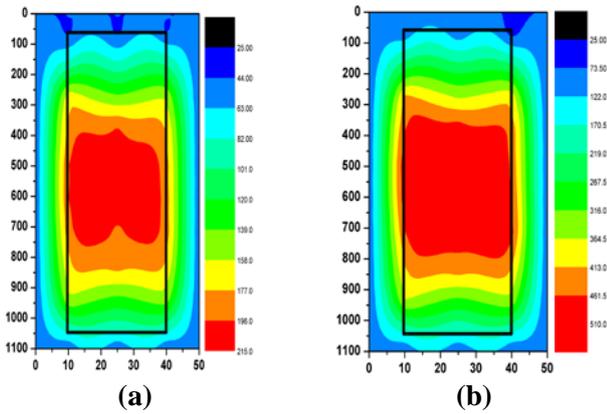
Gambar 4 Kurva karakteristik kenaikan temperatur eksperimen vs waktu



Gambar 4 Kurva karakteristik kenaikan temperatur eksperimen vs waktu

Berdasarkan data pengukuran kenaikan temperatur setiap posisi termokopel pada pelat SUS316 seperti yang ditunjukkan Gambar 2, data tersebut dimasukkan ke dalam origin lalu dirubah ke bentuk matrik 3x10 sesuai dengan posisi termokopel, selanjutnya diplot dalam bentuk kontur warna yang merepresentasikan profil distribusi temperatur dua-dimensi pelat SUS316. Profil distribusi temperatur dua-dimensi ditunjukkan pada Gambar 5.

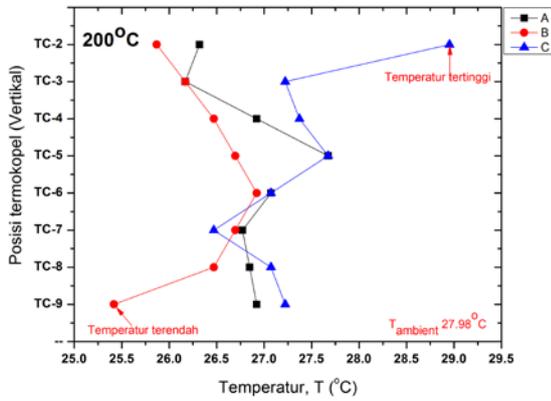




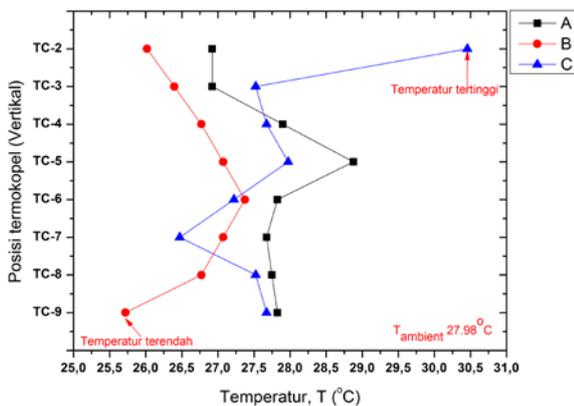
Gambar 5 Profil distribusi temperatur 2 dimensi, (a)200°C, (b) 500°C

Profil distribusi temperatur 1 dimensi

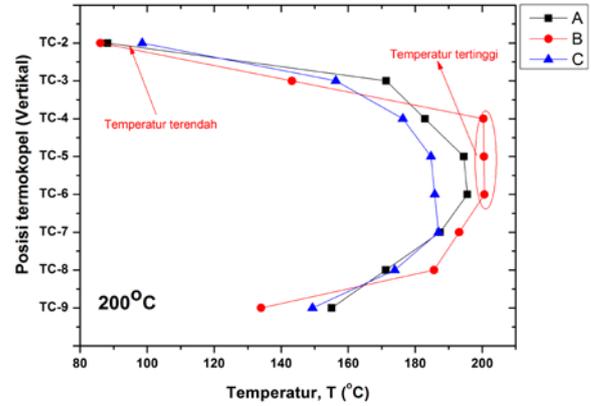
Sebagai perbandingan kebenaran Gambar profil dua-dimensi, dibuat profil 1 dimensi berdasarkan kolom matrik pada posisi termokopel dari data hasil pengukuran kenaikan temperatur. Profil distribusi temperatur satu-dimensi awal pemanasan dan akhir pemanasan, ditunjukkan pada Gambar 6 (a), 6(b).



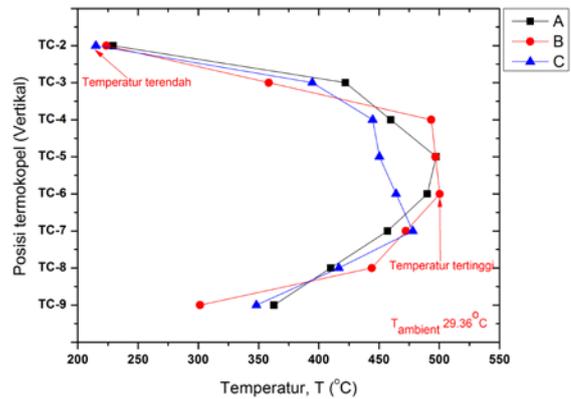
Gambar 6 (a) Profil distribusi satu-dimensi awal pemanasan



Gambar 6 (a) Profil distribusi satu-dimensi awal pemanasan



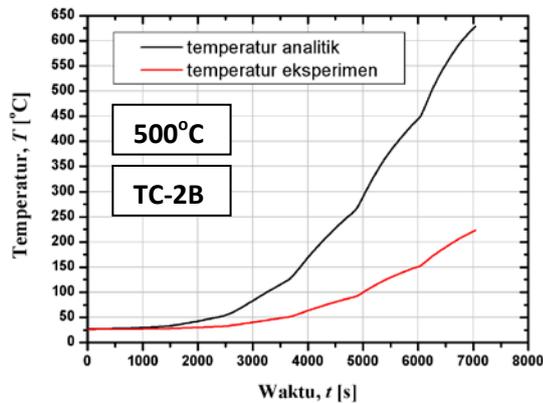
Gambar 6 (b) Profil distribusi satu-dimensi akhir pemanasan



Gambar 6 (b) Profil distribusi satu-dimensi akhir pemanasan

Nilai penyimpangan

Data kenaikan temperatur hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil perhitungan analitik, diplot dalam grafik untuk mengetahui nilai penyimpangan. Nilai Penyimpangan kenaikan temperatur eksperimen vs analitik terbesar terhadap waktu eksperimen 500°C, ditunjukkan pada Gambar 7.



**Gambar 7** Penyimpangan kenaikan temperatur eksperimen vs analitik terhadap waktu

## Kesimpulan

Hasil analisis distribusi temperatur 2 dimensi di bagian uji HeaTiNG-02, disimpulkan bahwa:

1. Korelasi kenaikan temperatur eksperimen pemanasan awal pelat SUS316 adalah eksponensial grow 2. Profil distribusi temperatur 2 dimensi pada bagian uji tidak homogen, dengan arah fluks kalor dari posisi termokopel yang mendekati titik tengah pelat SUS316 ke posisi termokopel titik terluar pelat SUS316, profil distribusi temperatur 1 dimensi terhadap sumbu kordinat y menyerupai grafik sinusoida, kurva profil distribusi temperatur 1 dimensi terbesar dicapai pada bagian tengah bagian uji.
2. Penyimpangan terbesar temperatur hasil perhitungan analitik terhadap distribusi hasil eksperimen, terjadi pada eksperimen untuk temperatur akhir 500°C pada titik-titik termokopel TC-2A 172%, TC-2B 181%, TC-2C 176%, akibat terdapat udara yang melalui *ceramic blanket*, plenum atas yang mempunyai penambahan luas, sedangkan pada titik-titik termokopel (TC-5A, TC-6B, TC-5C) yang dipakai sebagai acuan dalam perhitungan analitik tidak terjadi penyimpangan.

## Ucapan Terima kasih

Terima kasih sebesar-besarnya kepada lab Termohidrolika PTRKN BATAN, yang telah menyediakan fasilitas eksperimen. Rekan-rekan lab EDfEC terutama kepada Bapak Mulya Juarsa, Bapak Yogi Sirodz Gaos, Bapak Susyadi, Bapak Edi Marzuki yang telah memberikan arahan sehingga makalah ini dapat terselesaikan.

## Nomenklatur

$B$	: Lebar pelat rektangular (m)
$Sinh$	: Sudut kemiringan hiperbola ( $^{\circ}$ )
$H$	: Panjang pelat rektangular (m)
$T_o$	: Temperatur permukaan konstan ( $^{\circ}C$ )
$T_{\infty}$	: Temperatur lingkungan ( $^{\circ}C$ )
$V$	: Tegangan (V)
$X$	: Jarak termokopel terhadap sumbu x (m)
$Y$	: Jarak termokopel terhadap sumbu y (m)

## Referensi

- Guy Gugliotta, Putting a Lid on Chernobyl, Washington Post, Sunday, December 29, 2002; Page A01 The Accident At Three Mile Island, <http://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.pdf>.
- J. Zhang, F. Tanaka, M. Juarsa, K. Mishima, Calculation of Boiling Curves During Rewetting of a Hot Vertical Narrow Channel, Proceeding of NURETH-10, Seoul-Korea, October 5-9, 2003.
- M. Murase et al., Heat Transfer Models in Narrow Gap, Proceedings of ICONE 9, Nice (France), 8-12 April, 2001.
- M. Juarsa dan A.R. Antariksawan, Studi Eksperimental Quenching pada Celah Sempit, Jurnal Sains dan Teknologi Nuklir Indonesia, Vol.4, Edisi Khusus 4, Agustus, 2003.
- F. B. Cheung, Sang B. Kim, Critical Heta Flux in Inclined Rectangular Narrow Long Channel, International Conference on Advance Power plants, Seoul, 2005.
- Poulikakos, D., Conduction Heat Transfer, Prentice-Hall, New Jersey, 1994.