

## **STUDI EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEMPERATUR TRANSIEN PADA SEMI SPHERE SAAT PENDINGINAN**

**Amirruddin<sup>1</sup>, Mulya Juarsa<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa FMIPA Fisika UNPAD Jatinangor

<sup>2</sup>Laboratorium Eksperimental Termohidrolika Pusat Teknologi dan Keselamatan Reaktor Nuklir, (PTKRN)-BATAN

### **ABSTRAK**

**STUDI EKSPERIMENTAL DISTRIBUSI TEMPERATUR TRANSIEN PADA SEMI SPHERE SAAT PENDINGINAN.** Eksperimen tentang distribusi temperatur transient selama proses pendinginan telah dilakukan sebagai langkah awal dan upaya dari peningkatan kualitas produksi baja (*stainlees steel*) yang memiliki geometri semi sphere. Penelitian dilakukan selama pendinginan transien sejak dibukanya keramik pemanas di mana bejana uji dibiarkan dingin secara alamiah. Perlakuan pendinginan dilakukan secara radiasi dengan variasi temperatur awal saat dipanaskan antara 200 °C hingga 800 °C sampai didinginkan hingga mencapai keadaan saturasi  $\pm 90$  °C. Perlakuan pendinginan secara radiasi menunjukkan distribusi temperatur yang dapat dianggap homogen dan menurun terhadap waktu. Hal itu disebabkan oleh arah aliran konduksi panas pada bejana uji yang bergerak dari bawah ke atas. Dapat disimpulkan bahwa variasi temperatur awal tidak berpengaruh pada arah aliran panas tetapi berpengaruh pada laju aliran panas.

**Kata Kunci :** eksperimen, pendinginan, setengah bola, perpindahan kalor .

### **ABSTRACT**

**EXPERIMENTAL STUDY ON TRANSIENT TEMPERATURE DISTRIBUTION AT A SEMI-SPHERE DURING COOLING PROCESS.** *The experiment about temperature distribution during the cooling transient process have been conducted as a initial step and to afford an improvement of the quality of the stainless steel production having a semi sphere geometry. The research was performed during the cooling transient after the ceramic heater has been opened to allow a natural cooling process. The cooling treatment was carried out by radiation with initial temperature variation between 200 °C to 800 °C up in to the cooling saturation state of  $\pm 90$  °C. The cooling due to radiation indicated a radial distribution temperature, which can be considered as homogeneous and decrease with time. That condition was caused by the direction of heat conduction flow in the test vessel moving from the bottom to the top. It can be concluded that the initial temperature variation has no effect on the direction of heat flow but on the heat flow rate.*

**Keywords:** *experiment, cooling, semi sphere, heat transfer .*

## PENDAHULUAN

Baja tahan karat (*stainless steel*) merupakan bahan dasar yang banyak digunakan dalam berbagai keperluan seperti peralatan laboratorium, alat medis dan bahan dasar pembangunan. Selain itu *stainless steel* merupakan logam yang paling sering digunakan dalam material pabrik industri farmasi karena ketahanannya terhadap korosi sehingga dibutuhkan baja dengan kualitas yang baik. Dalam proses pembuatannya, salah satu tahap yang menentukan hasil produksi adalah proses pendinginan, dimana baja panas yang telah terbentuk didinginkan hingga mencapai temperatur saturasi. Syarat utama dalam proses pendinginan baja adalah keseragaman temperatur. Perbedaan temperatur yang besar antara titik-titik pada medium baja mengakibatkan hasil produksi yang kurang baik yang bisa membuat benda tersebut mudah rusak. Di sisi lain untuk memenuhi syarat tersebut diperlukan waktu yang lama, karena bahan baja memiliki temperatur awal yang sangat tinggi. Oleh karena itu jika kita ingin menggunakan proses pendinginan untuk mempercepat proses, kita belum mengetahui perlakuan pendingin seperti apa yang dibutuhkan sehingga diperoleh produk dengan kualitas terbaik.

Mengingat pentingnya hal tersebut, dibutuhkan riset dasar untuk mempelajari fenomena perpindahan panas dalam bentuk geometri semi sphere, sebagai langkah awal untuk mendapatkan solusi dari permasalahan tersebut. Direncanakan digunakan geometri semi sphere dengan pemanasan yang direncanakan untuk temperatur tinggi (800 °C) dengan pendinginan

secara radiasi. Penelitian ini penting dilakukan karena proses perancangan yang melibatkan fenomena perpindahan panas hanya dapat dilakukan dengan baik apabila karakteristik fenomena tersebut dipahami dan dimiliki oleh perancang dalam proses pembuatan baja bergeometri semi sphere dengan kualitas yang baik. Pengaruh dari variasi temperatur terhadap karakteristik perpindahan kalor sudah banyak dilakukan para peneliti. Walaupun demikian pada kasus geometri semi sphere masih banyak yang belum diketahui terutama pada distribusi temperatur saat proses pendinginan, sehingga diperlukan pemahaman yang lebih mendalam.

## TEORI

Temperatur merupakan suatu properti dimana jika nilainya naik maka menunjukkan kenaikan aktivitas molekular. Jika kalor mengacu pada transfer energi dari suatu benda ke benda yang lainya karena adanya perbedaan temperatur maka kita dapat mendefinisikan perpindahan kalor sebagai energi yang berpindah melewati batas suatu sistem akibat perbedaan temperatur antara sistem dan lingkungan sekitar sistem dan kalor merupakan jumlah dari energi yang berpindah.

Pemberian atau pengurangan panas tidak saja mengubah temperatur atau fasa zat suatu benda secara lokal, melainkan panas itu merambat dari bagian lain benda atau ke bagian lain tersebut. Peristiwa ini disebut perpindahan panas. Secara umum, setiap cara perpindahan kalor menunjukkan laju pemisahan energi yang melewati suatu bidang

atau permukaan. Semua cara perpindahan kalor membutuhkan adanya perbedaan temperatur. Secara umum terdapat tiga cara perpindahan panas, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi.

### Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor yang mengalir dari daerah dengan temperatur tinggi ke daerah dengan temperatur rendah di dalam satu medium. disini perpindahan panas terjadi akibat kontak langsung antara molekul-molekul dalam medium tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar.

Persamaan perpindahan kalor konduksi dinyatakan pertama kali oleh fourier pada tahun 1822 <sup>[1]</sup>

$$\frac{\dot{q}}{A} = -k \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- $\dot{q}$  : laju perpindahan kalor (Watt)
- A : luas daerah yang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m<sup>2</sup>)
- $\frac{dT}{dx}$  : gradient temperatur(<sup>0</sup>C/s)
- k : konduktivitas termal (W/m.K)

### Konveksi

Pada proses perpindahan kalor ini, media/benda yang menghantarkan kalor juga turut berpindah, seolah-olah kalor dibawa oleh media tersebut. Proses perpindahan kalor ini umumnya terjadi dari benda padat ke fluida (baik cair maupun gas) <sup>[2]</sup>. Konveksi terjadi karena adanya perbedaan massa, jika bahan yang dipanaskan bergerak dengan alat peniup atau pompa, prosesnya disebut konveksi yang dipak-

sa, sedangkan kalau mengalir akibat perbedaan rapat massa, proses nya di sebut konveksi ilmiah. Konveksi juga merupakan cara perpindahan energi antara permukaan zat padat dan perbatasan suatu zat cair atau gas yang bergerak, dan meliputi efek kombinasi dari konduksi dan gerakan fluida. Lebih cepat gerakan fluida, semakin besar perpindahan kalor konveksi. Persamaan perpindahan kalor konveksi pertama kali di nyatakan oleh Newton pada tahun 1701, dan selanjutnya disebut sebagai hukum newton tentang pendinginan. <sup>[3]</sup>

$$\frac{\dot{q}}{A} = h \Delta T \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- $\dot{q}$  : laju perpindahan kalor (Watt)
- A : luas daerah yang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  : beda temperatur antara permukaan dan fluida (<sup>0</sup>C),
- h : koefisien perpindahan kalor konveksi (Watt/m<sup>2</sup>.k)

### Radiasi

Radiasi merupakan perpindahan kalor melalui gelombang dari suatu zat ke zat yang lain tanpa membutuhkan medium perantara. proses perpindahan kalor radiasi terjadi dengan perantaraan foton dan juga gelombang elektromagnet. Apabila sejumlah energi kalor menimpa suatu permukaan, sebagian akan dipantulkan, sebagian akan di serap ke dalam bahan dan sebagian akan menembus bahan dan sebagian akan menembus bahan dan terus

keluar. Laju emisi-energi dari suatu radiator sempurna atau benda hitam diberikan oleh persamaan (3) yang sering kali disebut sebagai hukum stefan-boltzman tentang radiasi [4].

$$\frac{\dot{q}}{A} = e\sigma T^4 \quad \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

- $\dot{q}$  : laju perpindahan kalor (Watt)
- $A$  : luas daerah yang tegak lurus terhadap arah aliran panas ( $m^2$ )
- $\sigma$  : konstanta Stefan-Boltzman  
=  $5,675 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- $T$  : temperatur absolut (K)
- $e$  : emisivitas benda

## TATA KERJA

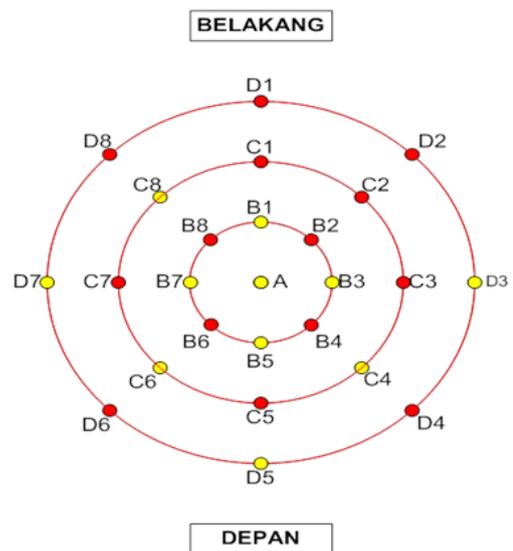
Objek penelitian yang digunakan adalah HeaTiNG-03 dimana merupakan alat uji eksperimen sistem penyelidikan distribusi temperatur transien secara radial. Komponen utama Bagian Uji HeaTiNG-03 terdiri dari:

### 1. Bejana Bagian uji utama dan termokopel

Bejana bagian uji (geometri semi sphere) merupakan bejana dengan bahan SS316 yang berbentuk setengah bola dengan massa 19 kg seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Pada permukaan luar bejana bagian uji dipasang 25 titik termokopel seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Bejana uji geometri semi sphere



Gambar 2. Posisi termokopel pada bejana uji

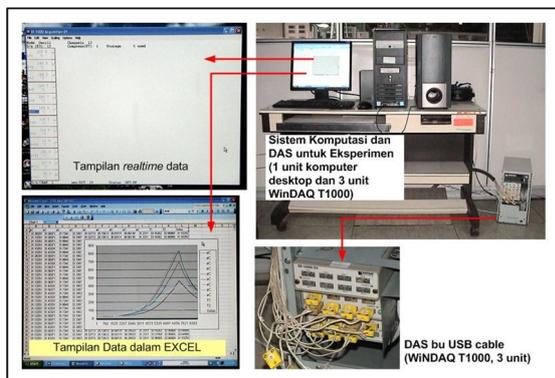
### 2. Silinder SS316 Bagian Luar dan Bagian Dalam

Silinder luar dibuat dari pipa SS316 berdiameter 12 inch Sch.40, sedangkan bagian dalam dibuat dari pipa SS316 berdiameter 10 inch Sch.40. Silinder bagian dalam berfungsi untuk menahan bejana bagian uji, pada bagian atasnya dipasang penutup yang berbentuk prisma berbahan SS316 dengan tebal 1 mm untuk menahan agar air tidak masuk ke dalam bagian dalam silinder yang berisi kawat termokopel. Sedangkan silinder bagian luar berfungsi sebagai pena-

han bejana gelas kuarsa setengah bola dan sebagai penyangga keseluruhan dari bagian uji dimana bagian luar silinder dipasang penyangga. Diantara kedua silinder dipasang/dilas dengan pipa SS316 berdiameter 1 inch Sch.80 yang berfungsi sebagai pengait kedua silinder tersebut dan sebagai lubang keluaran untuk kabel termokopel yang berasal dari bejana bagian uji.

### 3. DAS

Sistem Akuisi Data (DAS, *Data Acquisition System*) dengan laju perekaman data satu data per detik akan di gunakan untuk melakukan perekaman data selama berlangsungnya eksperimen. Gambar 3 menunjukkan peralatan sistem akuisisi data yang digunakan dalam eksperimen.



Gambar 3. Sistem Akuisisi data dan komputer untuk eksperimen

### Prosedur eksperimen

Eksperimen dilakukan dengan terlebih dahulu memanaskan bejana bagian uji dengan menaikkan daya *heater* secara bertahap hingga mencapai temperatur awal yang diinginkan. Panas akan meluruh tanpa adanya inputan daya. Pada eksperimen digunakan 3 variasi temperatur awal yang berbeda beda yaitu 200 °C, 300

°C, 400 °C, 500 °C, 600 °C, 700 °C, dan 800 °C. Tahap pendinginan radiasi dimulai sejak dibukanya keramik pemanas dimana *heated rod* dibiarkan dingin secara alamiah hingga mencapai waktu tertentu.

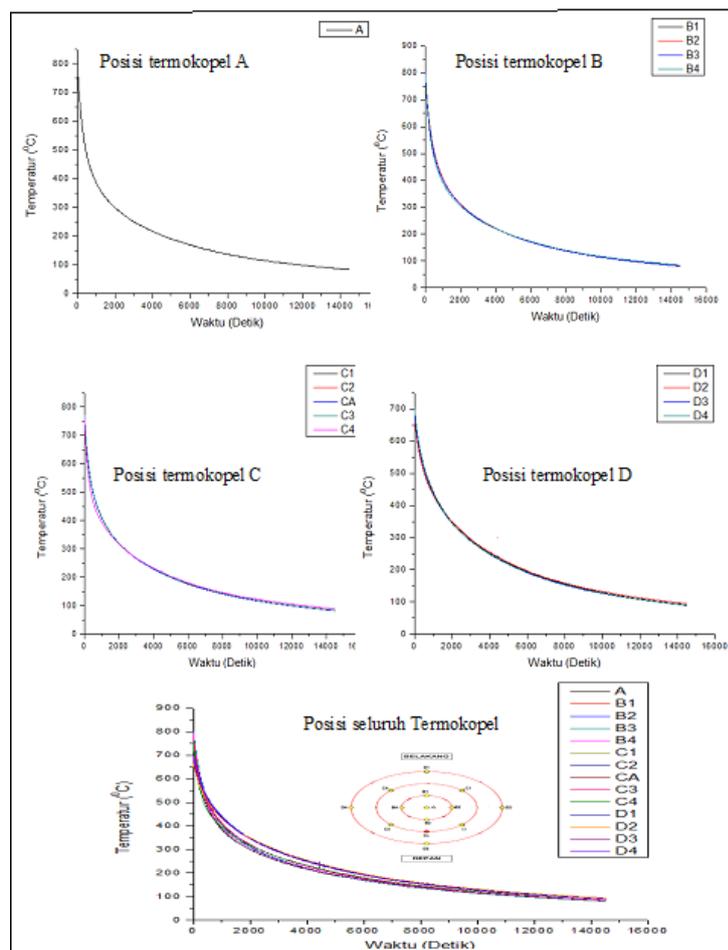
### HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil eksperimen dari bejana uji Heater 03 yang didapatkan berupa perubahan temperatur hasil uji pendinginan yang diambil setiap detik. Data yang diperoleh berupa data transien temperatur selama proses pendinginan yaitu nilai perubahan temperatur yang berubah terhadap waktu untuk variasi temperatur awal. Seluruh data setiap uji pendinginan dilakukan berdasarkan nilai variasi temperatur awal. Data yang ditampilkan dalam setiap kurva dibagi berdasarkan posisi masing masing termokopel dan variasi temperatur awal. Data berikut ini merupakan hasil pengukuran transien temperatur pada temperatur awal 800°C selama 10 detik pendinginan pada termokopel B1. Dari data yang didapat dibuat kurva waktu pendinginan terhadap temperatur dengan menggunakan piranti lunak Origin 8,0 seperti ditunjukkan pada Gambar 4 yang memperlihatkan distribusi temperatur dari tiap termokopel terhadap waktu untuk pendinginan.

Secara rata-rata, grafik pada Gambar 4 menunjukkan nilai distribusi temperatur transien yang homogen untuk setiap nilai temperatur. Perubahan nilai temperatur berdasarkan waktu selama proses pendinginan secara radiasi tercatat sebagai fungsi temperatur transien pendinginan konduksi karena pembacaan tem-

peratur pada bagian dalam dinding, sehingga distribusi temperatur transien pendinginan radiasi menurun secara eksponensial. Pada temperatur awal 200 °C termokopel B,C dan D distribusi temperatur awal di permukaan bejana bagian uji tidak terlalu merata terutama di termokopel D yang terletak di bagian paling atas dari bejana uji hal ini disebabkan karena temperatur awal yang masih rendah (mendekati temperatur saturasi) dan karena pada proses pemanasan terjadi hingga dimulai waktu perekaman data belum mencapai keadaan yang homogen untuk masing masing termokopel, pada detik pertama memiliki perbedaan tempertur yang besar, termokopel A dan B pada detik pertama memi-

liki temperatur berkisar 200 °C, namun pada termokopel D pada detik pertama hanya memiliki temperatur berkisar 150 °C sehingga proses pendinginan pun tidak merata pada masing masing termokopel. Berdasarkan grafik transien temperatur pada semua variasi temperasi temperatur awal terdapat keadaan dimana pada waktu tertentu temperatur pada seluruh termokopel berada dalam temperatur yang hampir sama. Pada temperatur awal 300 °C pada detik 1850 distribusi temperatur pada permukaan hampir sama sekitar 150 °C, pada temperatur awal 400 °C pada detik 1700 distribusi temperatur pada permukaan hampir sama sekitar 209 °C. Pada temperatur awal



Gambar 4. Kurva transien temperatur untuk temperatur awal 800 °C

500 °C pada detik 1400 distribusi temperatur pada permukaan hampir sama sekitar 250 °C. Pada temperatur awal 600 °C pada detik 650 distribusi temperatur pada permukaan hampir sama sekitar 375 °C. Pada temperatur awal 700 °C pada detik 450 distribusi temperatur pada permukaan hampir sama sekitar 475 °C sementara pada temperatur awal 800 °C pada detik 275 distribusi temperatur pada permukaan hampir sama sekitar 575 °C. Sehingga diketahui distribusi temperatur pada permukaan di setiap variasi temperatur awal memiliki grafik transien yang berpotongan pada seluruh termokopel. Untuk mengetahui pola perpindahan kalor pada trend penurunan temperatur di sepanjang arah radial dari bawah ke atas, dibuat kurva temperatur dengan termokopel yang berada sepanjang arah radial dengan selisih sudut sekitar 30 °C yaitu termokopel B,C dan D.

### KESIMPULAN

Berdasarkan studi eksperimental distribusi temperatur transient selama proses pendinginan pada geometri semi sphere dengan variasi temperatur awal 200 °C sampai dengan 800 °C diperoleh hasil distribusi temperatur selama proses pendinginan memiliki bentuk grafik eksponensial. Dimana temperatur pada setiap posisi berbeda-beda, temperatur tertinggi terletak pada bagian bawah bejana uji yang kemudian bergerak ke bagian atas bejana uji dan sebaliknya temperatur terendah terletak pada bagian atas bejana uji menuju ke bagian bawah bejana uji. Variasi temperatur awal tidak mempengaruhi arah pergerakan kalor, namun mempengaruhi laju distribusi temperatur kalor.

### DAFTAR PUSTAKA

1. WELTY. JAMES. R. A., *Fundamental of Momentum, Heat and Mass Transfer*, John Willey and Sons, INC, 2001.
2. MITRAKUSUMA, WINDY HERMAWAN, "Termodinamika dan perpindahan panas", Diktat Dasar Refrigerasi. BAB II, Hlm. 21, 2004
3. A. SPARROW AND R.CESS, "Radiation Heat Transfer", McGraw-Hill, 1978
4. KREITH, FRANK, "Prinsip-Prinsip Perpindahan Panas", cetakan keempat. Jakarta: Erlangga, 1997
5. BEJAN, A AND KRAUS A, "Heat Transfer Hand Book". New Jersey, Canada : John Wiley & Sons, Inc, 2003