

# ANALISIS PENGARUH PENURUNAN TEMPERATUR PADA PROSES TUANG CAIRAN LOGAM DENGAN COVER LADLE DI PT. X

Mohamad Faizal<sup>1</sup>, Hendra Gunawan<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Mesin S1, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta Selatan<sup>1 2</sup>  
email<sup>1</sup> : mfaizalh172@gmail.com

---

## Abstrak

Tuliskan abstrak anda di bagian ini dengan indentasi paragraf. Jumlah kata yang baik untuk sebuah abstrak adalah berkisar antara 100-300 kata. *Font* yang digunakan adalah *Times New Roman* 11pt. Abstrak berisi tulisan yang mencakup pendahuluan, metodologi dan hasil. Abstrak ditulis dalam bahasa Indonesia dengan baik dan jelas. Penggunaan referensi sebaiknya tidak digunakan pada abstrak. Istilah dalam bahasa lain dicetak miring (*italic*). Kata-kata kunci atau *keywords* yang baik tidak lebih dari 7 kata.

Kata kunci: abstrak, bahasa, isi, paragraf, *font*

## Abstract

*Block Cylinder is an important component of a vehicle engine where the quality of the component should not be defect because it can affect the function of the vehicle engine. Block cylinder is made from cast iron material (FC 230) which must be melted with temperature >1400 ° C. The temperature of cast iron molten metal into the mold is a very important factor to guarantee final quality of block cylinder. Process pouring of molten metal into a mold using a ladle to pouring 15 molds. Pin hole defects often occur in the final castings, this is due to molten metal temperature drop at the end, the one factor is air convection suction smoke collector. Smoke collector is required to move the gas that arises during the pouring process to outside the factory in order to make a comfortable and healthy work process, but it has side effect speed up decreasing temperature of molten metal. To solve the decrease temperature is minimize the rate of heat transfer that occurs from molten metal to environmental air. One way is to close the ladle with the cover to reduce the heat transfer that occurs in the metal liquid. The material used as a ladle cover is Kaowooltm SZr, where it has low thermal conductivity and light density. The rate of heat transfer occurring in the metal liquid to the surrounding air without cover is 4,5563 kW. After using the ladle cover the rate of heat transfer from metal liquid to air decreases to 1.8287 kW. Then the liquid temperature of the final cast metal rises from 1369 ° C to 1383 ° C, and the pin hole defect occurring in the final cast decreases from 0.22% to 0.12%.*

*Keywords: Pin Hole Defect, Cast Iron, Ladle, Molten Metal Temperature, Cover Ladle*

---

## PENDAHULUAN

Produksi block cylinder yang terbuat dari bahan cast iron FC 230 merupakan komponen utama dari mesin mobil. Proses tuang block cylinder cast iron di PT. X satu ladle digunakan untuk penuangan cairan logam sebanyak 15 cetakan. Cacat pada block cylinder sering terjadi pada tuangan akhir. Kondisi cairan logam dituangan akhir memiliki temperatur yang lebih rendah dari pada tuangan awal karena adanya heat loss. Posisi cacat yang terjadi block cylinder berada pada posisi tight plug cope no. 4.

Hubungan temperatur akhir yang rendah terhadap posisi cacat di tight plug cope no.4 dikonfirmasi dengan software Magmasoft. Hasilnya area tightplug cope no. 4 mengalami temperatur paling rendah sehingga berpotensi cacat. Karena potensi cacat pada temperatur rendah lebih tinggi, untuk mendapatkan kondisi temperatur seperti fluiditas cairan logam tuangan awal perlu dilakukan pengurangan heat loss cairan logam.

Salah satu heat loss yang terjadi adalah konveksi dari cairan logam ke udara oleh hisapan

smoke collector saat proses tuang. Untuk menurunkan heat loss tersebut dibuat alat cover ladle untuk mengurangi laju penurunan temperatur cairan logam.

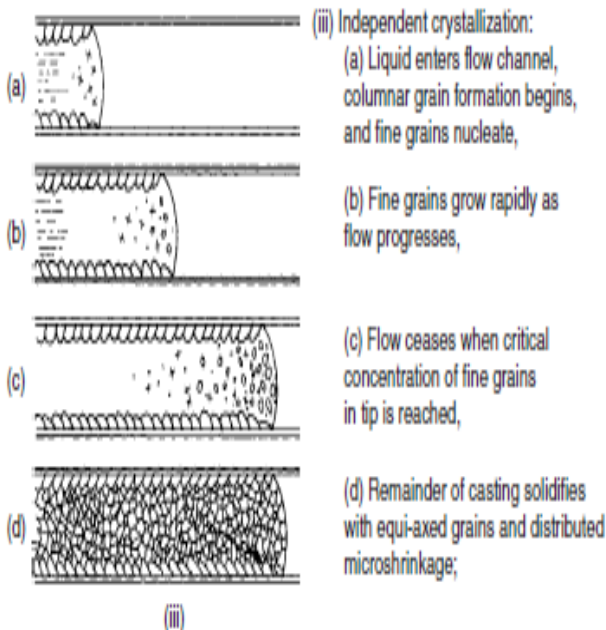
**TINJAUAN PUSTAKA**

**Proses Pengecoran Logam (Casting)**

Pengecoran logam adalah suatu proses manufaktur yang menggunakan logam cair dan cetakan untuk menghasilkan bentuk produk yang mendekati bentuk geometri akhir produk jadi. Logam cair akan dituangkan atau ditekan ke dalam cetakan yang memiliki rongga cetak (cavity) sesuai dengan bentuk atau desain yang diinginkan. Setelah logam cair memenuhi rongga cetak dan tersolidifikasi, selanjutnya cetakan disingkirkan dan hasil cor dapat digunakan untuk proses sekunder.

Fluiditas dapat didefinisikan sebagai kualitas cairan logam untuk mengalir melalui bagian-bagian cetakan dan untuk mengisi semua celah dari cetakan, memberikan hasil yang tajam dan bentuk yang sesuai dengan detail desain. Hal ini menunjukkan bahwa fluiditas dapat menjadi faktor dalam casting saluran pendek atau dalam hasil permukaan casting yang buruk. Ini juga bisa dikatakan, fluiditas bukanlah satu sifat fisik dalam arti yang sama dengan massa jenis atau viskositas, tapi karakteristik kompleks yang berkaitan dengan perilaku spesifik kondisi dalam cetakan pengecoran. Dalam mempertimbangkan faktor yang mempengaruhi aliran molten meltal, faktor viskositas mungkin diharapkan lebih dominan.

Perbedaan antara aspek fluiditas dan yang diukur, untuk contoh, dengan tes spiral ditarik oleh Wood dan Gregg<sup>12</sup>, yang menyatakan :

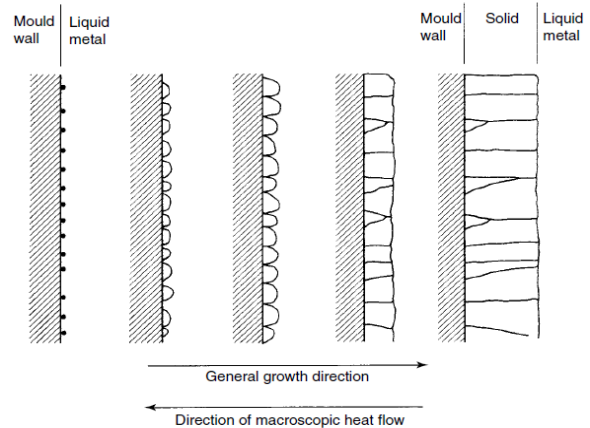


Gambar 1 Proses solidifikasi cairan logam

**Proses Crystal Growth**

Proses crystal growth yang mengikuti nukleasi menentukan kristalografi akhir struktur padat. Modus growth, baik individual grains dan massa padat secara umum, tergantung pada kondisi thermal di zona solidifikasi dan jenis dari paduan.

Pembekuan logam murni menyajikan contoh yang paling mudah karena temperatur lebur yang sama akan menghasilkan proses solidifikasi secara seragam, berbeda dengan logam paduan karena memiliki temperatur lebur yang berbeda akan terjadi proses solidifikasi yang tidak seragam dari logam cair. Dibawah kondisi praktis aliran panas, bagaimanapun proses solidifikasi menghasilkan gradien suhu nukleasi awal pada permukaan cetakan yang relatif dingin berlanjut ke pertumbuhan (growth) ke arah pusat casting (Gambar 2). Pertumbuhan seperti itu cenderung dikaitkan dengan arah kristalografi, baik kristal yang berorientasi tumbuh lebih cepat dari posisi lain dalam gradien temperatur.

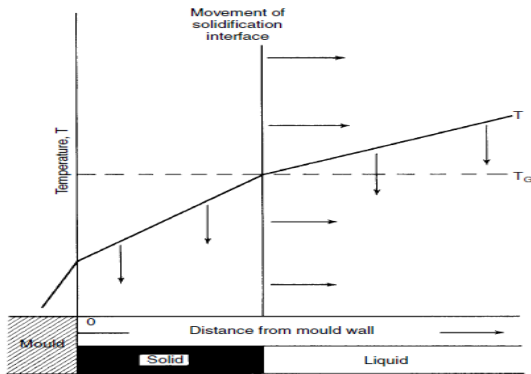


Gambar 2 Pertumbuhan (growth) struktur butiran kolom.

Produksi struktur kolom karakteristik sering diamati pada ingot dan produk coran, dengan butir individu memanjang ke arah umum aliran panas. Kondisi termal yang menghasilkan struktur seperti itu diilustrasikan pada Gambar 3. Diasumsikan adanya suhu positif gradien pada antarmuka padat-cair, antarmuka semakin maju karena suhu pertumbuhan tercapai pada titik-titik yang lebih dalam di dalam casting. Pembekuan dapat terjadi saat panas laten kristalisasi tidak cukup untuk membalik arah aliran panas dalam permukaan cairan yang berdekatan.

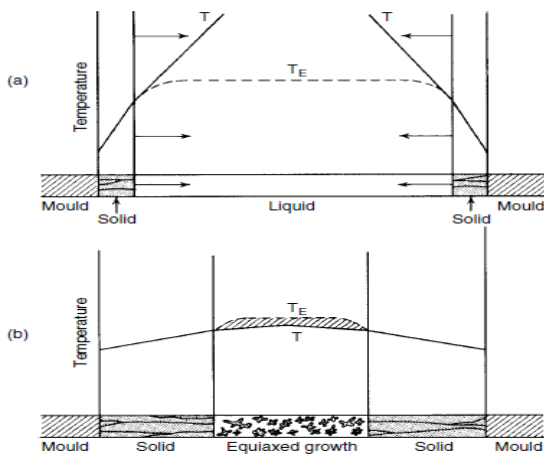
Dalam banyak kondisi, perpindahan panas dari casting ke cetakan pendingin menghasilkan gradien positif pada skala makroskopik, lokal evolusi panas laten cukup untuk membalikkan gradien suhu pada antarmuka. Kondisi termal dalam kasus ini ditunjukkan pada Gambar 3 Karena suhu

minimum dalam cairan tidak lagi berdekatan dengan antarmuka, pertumbuhan dengan kemajuan umum dari solidifikasi depan yang halus memberi jalan pada mode pertumbuhan lainnya dimana deposisi dapat terjadi daerah dengan undercooling lebih besar. Aliran panas mikroskopis bisa jadi besar faktor dalam pembentukan struktur cor.

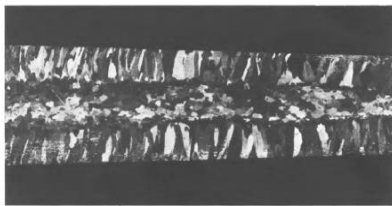


Gambar 3 Skema representasi distribusi temperatur solidifikasi

Crystal growth pada cast iron terjadi dalam 2 tahap, yaitu column growth stage dan central equiaxed region. Gambar 4 menjelaskan terbentuknya column growth stage dan equiaxed growth stage. Mikrostruktur terjadi pada area equiaxed growth.



Gambar 4 Column growth stage



Gambar 5 Macrostructure pada cast iron zona columnar dan zona equiaxed

Gambar 5 menunjukkan makrostruktur pada zona columnar dan zona equiaxed. Sample berbentuk tirus

dimana ketebalan zona columnar relatif sama, sedangkan zone equiaxed terjadi setelah zona columnar dan mengikuti profil produk.

### Perpindahan Kalor secara Konduksi

Perpindahan energi secara konduksi atau hantaran dan bahwa laju perpindahan panas itu berbanding dengan gradient suhu normal. Konduksi adalah perpindahan panas yang disebabkan oleh kontak langsung dari molekul-molekul benda padat dan pada permukaan tipis dari fluida cair atau gas ke molekul yang terdekat menyebabkan getaran yang memberikan energi kinetik molekul dan selanjutnya dirubah menjadi energi panas. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu (temperatur gradient) maka akan terjadi perpindahan energi dari bagian suhu tinggi kebagian suhu rendah. Kita katakan bahwa energi berpindah secara konduksi atau hantaran dan bahwa laju perpindahan panas itu berbanding dengan gradient suhu normal.

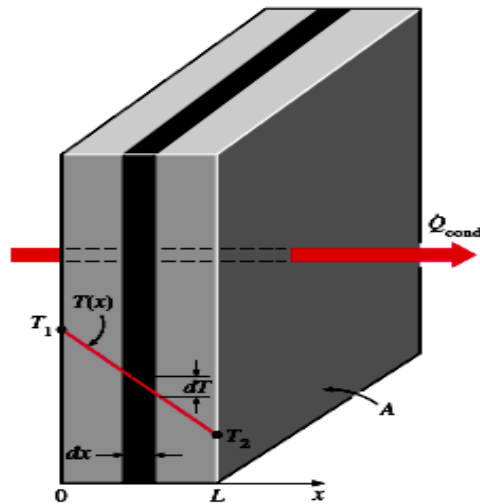
$$q/A \sim dT/dx$$

Jika dimasukkan konstanta proporsionalitas,

$$q = -k.A.dT/dx \quad ; \text{ Untuk Plat datar}$$

$$q = -k.A.dT/dr \quad ; \text{ Untuk tabung atau silinder}$$

Untuk plat datar, seperti yang terlihat pada gambar 2.6.



Gambar 6 Konduksi pada plat

$$Q_{cond} = \int_{x_1}^{x_2} dx = -kA \int_{T_1}^{T_2} dT$$

$$Q_{cond}(x_2 - x_1) = -kA(T_2 - T_1)$$

$$Q_{cond} = \frac{-kA(T_2 - T_1)}{x_2 - x_1} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{\Delta x}$$

$$Q_{cond} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{\Delta x} = \frac{(T_1 - T_2)}{\frac{x}{kA}} = \frac{(T_1 - T_2)}{R}$$

$$Q_{cond} = -kA \frac{dT}{dx}$$

Dimana :

- $Q$  = Laju perpindahan kalor (J)
- $k$  = Koefisien panas konduksi (W /m.K)
- $A$  = Luas permukaan aliran panas (m<sup>2</sup>)
- $\Delta T$  = Perbedaan temperatur (K)
- $\Delta x$  = Jarak (m)

### Perpindahan Kalor secara Konveksi Paksa

Konveksi Paksa yaitu perpindahan panas suatu fluida yang diakibatkan oleh energi luar, misal menggunakan *fan*. Jenis aliran dalam konveksi paksa adalah laminar dan turbulen. Jenis aliran dapat diketahui dengan menentukan Bilangan Reynold. Untuk Bilangan Reynold aliran di luar saluran aliran:

$$Re = \frac{\rho \cdot v \cdot L}{\mu} = \frac{\text{Gaya inersia}}{\text{viskositas}}$$

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu}$$

Dimana:

- $Re$  = Bilangan Reynolds
- $u$  = Kecepatan fluida
- $\nu$  = Viskositas kinematis
- $L$  = Panjang penampang plat
- $\rho$  = Massa jenis fluida

Aliran Laminar bila  $Re < 5 \times 10^5$

Aliran Turbulen bila  $Re \ 5 \times 10^5 \leq Re < 10^7$

Lapisan batas *thermal* adalah daerah dimana terdapat gradient suhu dalam aliran akibat proses pertukaran kalor antara fluida dan dinding, sedangkan lapisan batas hidrodinamis adalah daerah dimana gaya-gaya viskos dirasakan.

### Angka Prandtl

Angka Prandtl adalah parameter yang menghubungkan ketebalan relative antara lapisan batas hidrodinamis dan lapisan batas *thermal*.

$$Pr = \frac{\nu}{\alpha} = \frac{\mu/\rho}{k/\rho C_p} = \frac{\mu C_p}{k}$$

### Bilangan Nusselt

Bilangan yang menghubungkan antara bilangan Reynold dan Angka Prandtl. Untuk menghitung bilangan nusselt pada aliran diluar saluran laminar digunakan persamaan Dittus-Boelter.

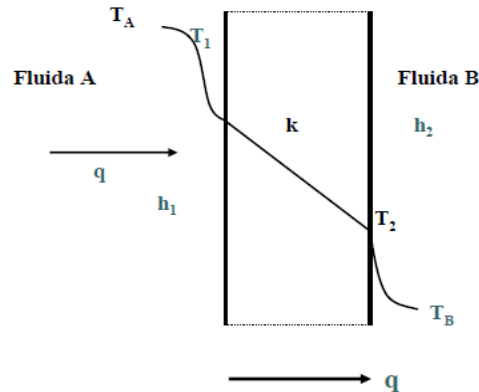
$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} = 0,664 Re_L^{0,5} Pr^{1/3}$$

Persamaan diatas hanya dapat digunakan, jika:

- $Re_L < 5 \times 10^5$

Perpindahan kalor gabungan

Apabila perpindahan panas secara konduksi dan konveksi digabungkan maka akan terjadi seperti pada gambar berikut:



Gambar 7 Laju perpindahan panas konduksi dan konveksi

Suatu bidang datar, salah satu sisinya terdapat fluida panas A dan sisi lainnya terdapat fluida B yang lebih dingin.

Jika  $\nu = \mu / \rho$  maka  $\frac{1}{\nu} = \frac{\rho}{\mu}$ ; sehingga :

$$q = \frac{T_A - T_B}{\frac{1}{h_{1,A}} + \frac{\Delta x}{kA} + \frac{1}{h_{2,A}}} = \frac{A(T_A - T_B)}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

Selain itu  $q = UA \Delta T_{menyeluruh}$

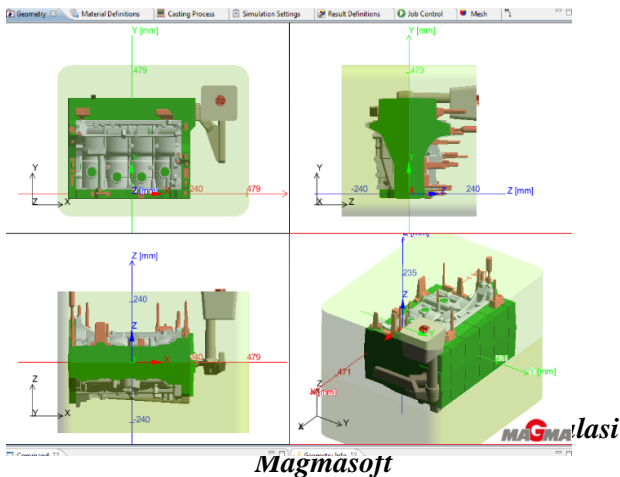
Sehingga koefisien perpindahan panas menyeluruh dapat dinyatakan dengan:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_1} + \frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h_2}}$$

### Simulasi Magmasoft

Simulasi ini ditujukan untuk mengetahui gambaran dari proses pengecoran dari dari produk mulai dari heat transfer yang terjadi di dalam cetakan, porosity, shringkage/penyusutan, dan microstructure dari komponen. Berikut adalah hasil dari simulasi dengan menggunakan *software* Magmasoft v5.3.

Untuk menjalankan simulasi diperlukan data – data pendukung lapangan seperti geometri produk beserta *gating system* dan riser, komposisi material, jenis pasir cetakan, sistem saringan, dan temperatur tuang. Langkah pertama yang dilakukan adalah input geometri produk:

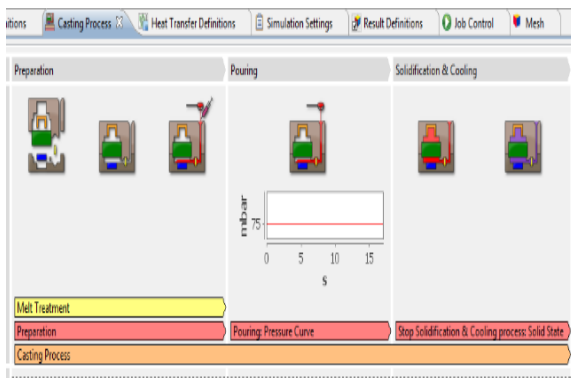


**Magmasoft**

Langkah berikutnya input kondisi material cairan logam seperti komposisi dan temperatur cairan logam. Kemudian pilih jenis pasir cetakan dan temperatur pasir.

Material	Mat ID	Database/File name	Initial Temperature (°C)	Iron Composition
Cast Alloy		MAGMA/GIL-200	1300.0	C (Carbon) 3.45 % Ce (Cerium) 0.0 % Cr (Chromium) 0.4 % Cu (Copper) 0.0 % Mg (Magnesium) 0.0 % Mn (Manganese) 0.7 % Mo (Molybdenum) 0.0 % N (Nitrogen) 75.0 ppm Ni (Nickel) 0.0 % P (Phosphorus) 0.015 % S (Sulfur) 0.015 % Sb (Antimony) 0.035 % Si (Silicon) 2.05 % Sn (Tin) 0.0 %
Filter		MAGMA/Foam30ppi_medium		
Sand Mold		MAGMA/Green_sand	35.0	
Core		MAGMA/Coldbox_silica	35.0	

Langkah pilih kondisi proses cetak casting, seperti proses inokulasi, kecepatan pouring, dan proses solidifikasi material tersebut.



**Gambar 10 Proses pengaturan parameter proses casting**

## METODOLOGI DAN PENGOLAHAN DATA

Tahapan proses yang dilakukan pada penelitian ini seperti tergambar pada gambar 11 diagram alir proses pengerjaan



**Gambar 11 Diagram alir proses pengerjaan**

## Prosedur Pengambilan Data

Pengumpulan data merupakan salah satu tahapan sangat penting dalam penelitian. Teknik pengumpulan data yang benar akan menghasilkan data yang memiliki kredibilitas tinggi, dan sebaliknya. Penelitian dilakukan pada saat unit beroperasi melebur material logam *cast iron* FC 230. Setelah melakukan observasi dan melakukan pengukuran pada object penelitian. Untuk analisa perpindahan kalor dilakukan pada flask ke-15. Dalam pengambilan data selalu mengutamakan faktor keamanan mengingat kondisi temperatur yang diobservasi cukup tinggi. Berikut langkah-langkah pengumpulan data yang diperlukan

1. Pengukuran dimensi *ladle*
2. Pengambilan data temperatur cairan logam sebelum menggunakan *cover*
3. Pengambilan data kecepatan udara yang dihisap *smoke collector*
4. Pengambilan data dimensi *cover ladle*
5. Pengambilan data temperatur cairan logam sesudah menggunakan *cover*

## Alat pengukur suhu

Pada penelitian ini parameter suhu sangatlah penting karena pada keseluruhan penelitian ini banyak membahas mengenai parameter suhu. Pada penelitian ini terdapat 2 jenis alat ukur suhu yang digunakan. Berikut adalah jenis alat pengukur suhu yang digunakan dan spesifikasinya:

- *Thermocouple* Cairan Logam

Thermocouple ini digunakan untuk mengukur temperatur cairan logam dengan cara dicelupkan keatas molten.

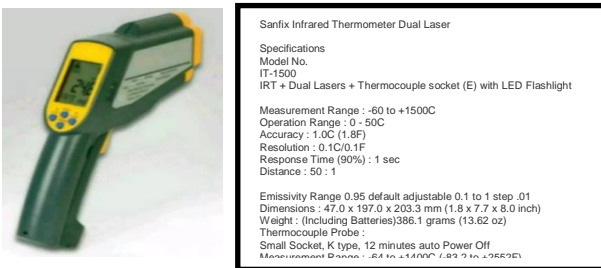


Heareus Digilance IV  
 Specifications  
 Model No. Digilance IV  
 four adjustable measuring ranges linearized acc. to IEC 584 / IPTS 68 / ITS 90 and IPTS 48  
 Dip-measuring type S, R, B Continuous measuring type R  
 Measurement Range : type R (Pt 13% Rh/Pt) 400 ... 1760 °C  
 Operation Range : 0 - 50C  
 Accuracy : 1.0C (1.6F)  
 Resolution : ±1C

Gambar 12 Thermocouple cairan logam (Sumber: Manual book molten metal thermcouple)

**Non contact infrared thermometer**

Thermometer ini digunakan untuk mengetahui temperatur dinding ladle bagian dalam sebelum dilakukan proses tuang cairan logam ke ladle.



Sanlfix Infrared Thermometer Dual Laser  
 Specifications  
 Model No. IT-1500  
 IRT + Dual Lasers + Thermocouple socket (E) with LED Flashlight  
 Measurement Range : -60 to +1500C  
 Operation Range : 0 - 50C  
 Accuracy : ±1.0C (1.8F)  
 Resolution : 0.1C/0.1F  
 Response Time (90%) : 1 sec  
 Distance : 50 : 1  
 Emissivity Range 0.95 default adjustable 0.1 to 1 step .01  
 Dimensions : 47.0 x 197.0 x 203.3 mm (1.8 x 7.7 x 8.0 inch)  
 Weight : (Including Batteries)386.1 grams (13.62 oz)  
 Thermocouple Probe : Small Socket, K type, 12 minutes auto Power Off  
 Measurement Range : -60 to +1500C / 0.1 to 2550F

Gambar 13 Infrared thermometer SmartSensor (Sumber: Manual book infrared thermometer)

**Alat Pengukur Kecepatan Udara**

Selain suhu parameter lain yang perlu adalah kecepatan udara disekitar ladle yang dihisap oleh smoke collector. Kecepatan udara sekitar ladle sangat berpengaruh terhadap perpindahan panas secara konveksi yang terjadi dari cairan logam ke udara disekitar. Pada penelitian ini alat ukur kecepatan udara yang digunakan berbasis logger, dimana data hasil pengukuran dapat direkam dalam interval waktu tertentu.



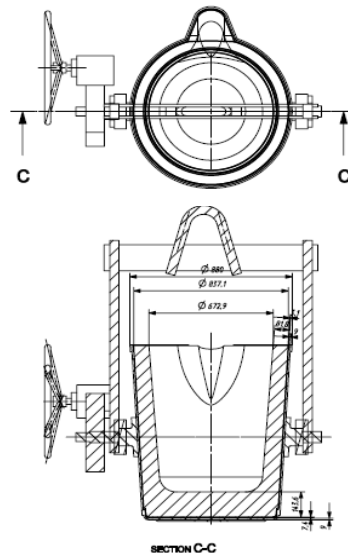
Logger & Data Collector

Vane Probe

SPESIFIKASI  
 Merk : TESTO  
 Measure Unit : Velocity  
 Measure Range : 0.1 m/s to 15 m/s  
 Basic Accuracy : ±0.1 m/s  
 Features : Simultaneously Recorded

**Spesifikasi Data**

Dalam Trial digunakan ladle tuang nomor 17. Setelah melakukan pengukuran dan spesifikasi ladle, maka didapatkan dimensi ladle seperti pada Gambar 11



Gambar 15 Dimensi Ladle Tuang (NX 8.0 skala 1:10)

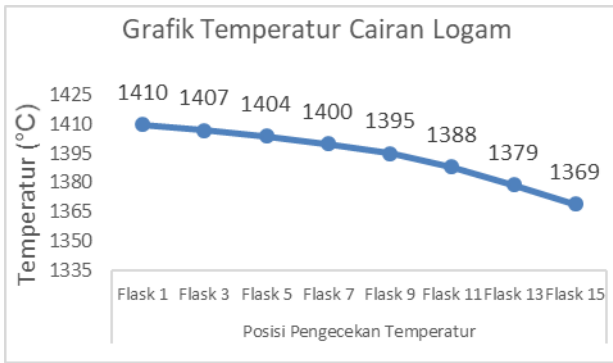
Untuk mengetahui temperatur cairan logam yang masuk ke dalam cetakan dilakukan pengukuran pada saat proses tuang cairan logam ke dalam cetakan. Pengukuran dilakukan setiap 2 flask dari 15 flask untuk mengetahui temperatur cairan yang masuk ke dalam cetakan.

Sebelum dilakukan pengukuran, syarat yang diberlakukan dalam pengambilan data saat sebelum tapping adalah sebagai berikut:

**Tabel 1** Data kondisi pengambilan data temperatur tuang

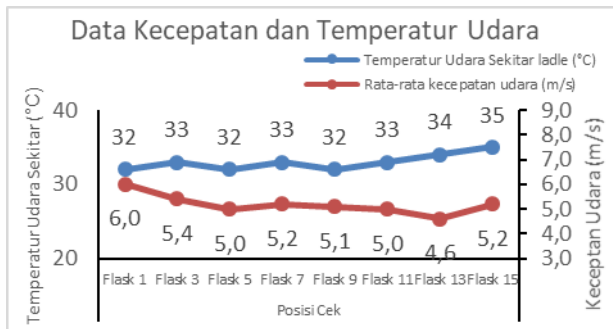
Item	Kondisi
Nama Furnace	Furnace MF 3.0 Ton Inductotrem no. 1
Line Pouring	Line Pouring A
Temp. Tapping	1470°C
Berat Cairan	1272 Kg
Temp. Dinding Dalam Ladle	1045°C
Temp. Dinding Luar Ladle	258°C
Waktu Handling Cairan ke Flask 1	2' 23"

Setelah kondisi proses tuang terpenuhi, dilakukan pengukuran cairan logam saat proses tuang ke cetakan. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:



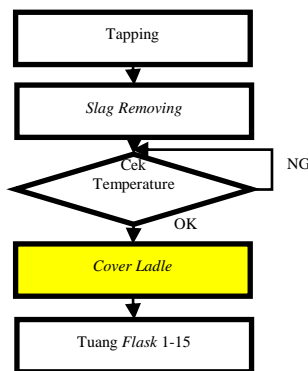
**Gambar 16** Grafik temperatur cairan logam saat tuang tanpa cover

Untuk mengetahui perpindahan panas secara konveksi, dibutuhkan data perlu diketahui kecepatan rata-rata aliran udara yang terjadi pada bagian atas permukaan ladle dan temperatur lingkungan ladle. Berikut hasil pengukurannya:



**Gambar 17** Grafik temperatur udara dan kecepatan udara smoke

Untuk merancang cover ladle memiliki beberapa standar safety di PT. X agar dapat digunakan secara regular berat total alat yang dibawa <10 kg untuk pekerjaan yang bersifat regular dan secara proses tidak mengganggu pekerjaan standar. Proses yang kritis berada pada proses penutupan cover ladle, pengecekan temperatur tidak bisa dilakukan. Oleh karena hal tersebut aliran proses untuk proses cover ladle adalah sebagai berikut :



**Gambar 18** Aliran proses pengecekan temperatur dengan cover ladle

Dalam menentukan material dasar cover, material yang dibutuhkan adalah memiliki konduktivitas thermal yang rendah dan memiliki berat jenis seringan mungkin dengan tujuan meminimalkan heat loss dan ringan karena digunakan secara manual dengan oleh orang. Berikut adalah data massa jenis material cover ladle:

**Tabel 2** Spesifikasi material utama cover ladle

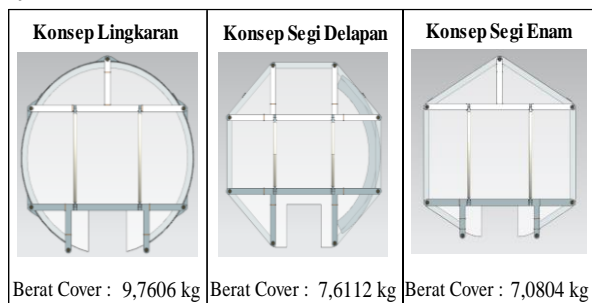
Nama Material	Temp. Kerja (°C)	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	k (W/m°C)
Kaowool™ SZr	>1000°C	96	0,23
Ceramic Board	>1000°C	750	0,232
Lining Material	>1000°C	2750	0,95

Dari data table 3.2, material Kaowool™ SZr memiliki berat jenis dan konduktivitas thermal yang paling rendah sehingga akan digunakan sebagai dasar perancangan dan pembuatan cover ladle. Selain material utama cover ladle, diperlukan material support sebagai pemegang cover ladle. Berikut adalah material support untuk pembuatan cover ladle.

**Tabel 3** Spesifikasi material support cover

Nama Material	Berat Jenis (kg/m <sup>3</sup> )	k (W/m°C)	Fungsi
Frame Mild Steel	7850	52	Untuk frame kaowool
Bolt Steel	7850	50,2	Pengikat frame atas dan bawah
Ceramic Fiber Cloth JIC 1208	500	0,17	Untuk pegangan handle dan frame agar tidak panas
Steel Wire	7850	50,2	untuk mengikat kaowool ke frame

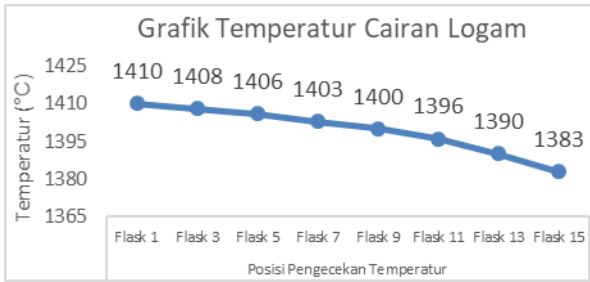
Setelah diketahui berat jenis material utama dan material support cover ladle, dilakukan perancangan bentuk dari cover ladle. Konsep dasar pembuatan cover ladle semaksimal mungkin cairan logam bisa tertutup. Masukan dari member tuang area bibir ladle harus tetap dibuka sedikit agar dapat melihat posisi ketinggian cairan saat tuang. Ada beberapa pilihan konsep untuk membuat cover ladle, yaitu:



**Gambar 19** Konsep cover ladle

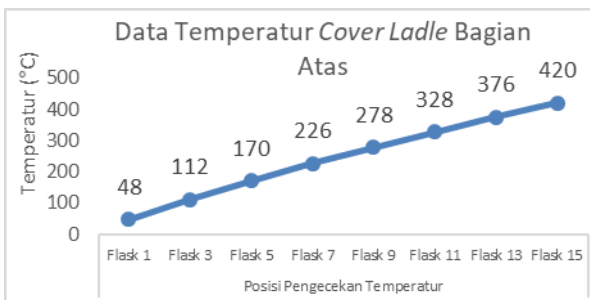
Dari data Gambar 16 menunjukkan berat total dari cover ladle yang paling ringan adalah konsep segi enam 7,0804 kg.

Setelah kondisi proses tuang terpenuhi, dilakukan pengukuran cairan logam saat proses tuang ke cetakan. Hasil yang diperoleh adalah sebagai berikut:



**Gambar 20** Grafik temperatur cairan logam saat tuang dengan cover

Untuk mengetahui perpindahan panas secara konduksi dan konveksi pada *cover*, dibutuhkan data temperatur *cover* bagian atas dan dalam. Berikut data hasil pengukurannya:



**Gambar 21** Grafik temperatur cover ladle bagian atas saat tuang

Selain bagian atas *cover ladle*, untuk mengetahui perpindahan panas yang terjadi dari cairan logam ke *cover ladle*, perlu diketahui temperatur bagian bawah *cover*, karena tidak dimungkinkan untuk mengambil data per dua *flask*, maka sample data temperatur diambil pada *flask* ke 15 saja. Berikut hasil pengukuran temperatur bagian bawah *cover* 506°C.

Untuk mencari perpindahan panas yang terjadi dari cairan logam ke *smoke collector* pada *flask* ke 15 kita harus mencari koefisien perpindahan panas konveksi ( $h$ ), dengan diketahui;

$$\Delta T = (1369^{\circ}\text{C} + 35^{\circ}\text{C})/2 = 702^{\circ}\text{C}$$

$$\rho_{\text{udara}} = 0,3620 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1135 \text{ J/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$k = 0,06590 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$

$$Pr = 0,7093$$

$$v = 1,137 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (pada 1 atm)}$$

$$L_{\text{molten}} = 0,6475 \text{ m}$$

Ketika udara melewati cairan logam secara parallel, Reynold number pada ujung *ladle* adalah

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} = \frac{\left(5,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0,6475 \text{ m})}{1,137 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}}$$

$$= 29616,6634 = 2,9616 \times 10^4$$

Diperoleh bilangan Reynolds dibawah kritis. Dengan demikian aliran laminar diatas cairan logam dan bilangan Nusselt rata-rata menjadi :

$$\begin{aligned} Nu &= \frac{hL}{k} = 0,664 Re_L^{0,5} Pr^{1/3} \\ &= 0,664 (2,9616 \times 10^4)^{0,5} 0,7093^{1/3} \\ &= 101,9097 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan Nusselt number, kemudian menghitung koefisien konveksi pada udara yang melewati cairan logam:

$$\begin{aligned} h &= \frac{k}{L} Nu = \frac{0,06676 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}}{0,6475 \text{ m}} 101,9097 \\ &= 10,3722 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$As = 0,3293 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= h As \Delta T \\ &= (10,3722 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}) (0,3293 \text{ m}^2) \\ &\quad (1369^{\circ}\text{C} - 35^{\circ}\text{C}) \\ &= 4556,3467 \text{ W} = 4,5563 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perpindahan panas yang terjadi antara cairan logam dengan udara sebesar sebesar 4,5563 kW

Kondisi temperatur udara environment sama dengan kondisi *ladle* tidak *discover* dan kecepatan udara *smoke collector* dianggap sama. Pengolahan data menggunakan perhitungan manual sesuai dengan studi literatur dengan kondisi steady state pada tuangan *flask* ke 15. Dalam perhitungan cover dianggap menutup semua permukaan *ladle*.

Berikut adalah perhitungan untuk aliran perpindahan panas dari cairan logam setelah menggunakan *cover ladle*. Berikut adalah data perhitungan konduksi *cover ladle*

$$Q_{\text{cond}} = \frac{-kA(T_2 - T_1)}{x_2 - x_1} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{\Delta x}$$

$$\Delta T = T_1 - T_2 = 506 - 420 = 86^{\circ}\text{C}$$

$$A = 0,3293 \text{ m}^2$$

$$\Delta x = 38 \text{ mm} = 0,038 \text{ m}$$

$$k = 0,23 \text{ W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$$



Untuk mencari perpindahan panas yang terjadi dari *cover ladle* ke *smoke collector* kita harus mencari koefisien perpindahan panas konveksi, dengan diketahui;

$$\Delta T = \frac{T_2 - T_3}{2} = \frac{(420^\circ\text{C} + 35^\circ\text{C})}{2} = 227,5^\circ\text{C}$$

$$\rho \text{ udara} = 0,7067 \text{ kg/m}^3$$

$$C_p = 1029 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$k = 0,038048 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$$

$$Pr = 0,6959$$

$$v = 3,8048 \times \frac{10^{-5} \text{ m}^2}{s} \quad (\text{pada } 1 \text{ atm})$$

Panjang Molten pada area yang dicover

$$= 0,5699 \text{ m}$$

Ketika udara melewati cairan logam secara parallel, Reynold number pada ujung *ladle* adalah

$$Re = \frac{v \cdot L}{\nu} = \frac{\left(5,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) (0,6475 \text{ m})}{1,712 \times 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}} = 196670,560 = 19,6670 \times 10^4$$

Diperoleh bilangan Reynolds dibawah kritis. Dengan demikian aliran laminar diatas cairan logam dan bilangan Nusselt rata-rata menjadi:

$$Nu = \frac{hL}{k} = 0,664 ReL^{0,5} Pr^{1/3} = 0,664 (19,6670 \times 10^4)^{0,5} 0,6959^{1/3} = 260,9476$$

Kemudian,

$$h = \frac{k}{L} Nu = \frac{0,03958 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}}{0,6475 \text{ m}} 260,9476 = 15,9511 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$As = 0,3293 \text{ m}^2$$

Setelah diketahui koefisien konveksi dan konduksi pada *cover ladle*, maka dilakukan perhitungan koefisien perpindahan panas gabungan sebagai berikut;

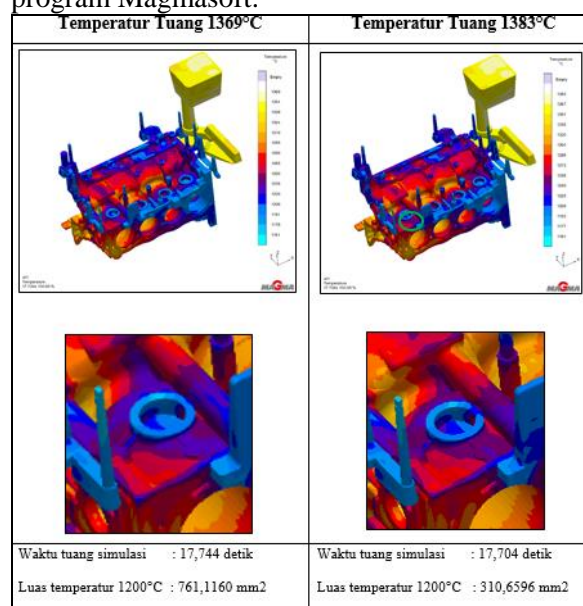
$$U = \frac{1}{\frac{\Delta x}{k} + \frac{1}{h}} = \frac{1}{\frac{0,038 \text{ m}}{0,23 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}} + \frac{1}{15,9511 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}} = 4,3877 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

Setelah diketahui koefisien perpindahan panas gabungan, dilakukan perhitungan perpindahan panas:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T = \left(4,3877 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right) (0,3293 \text{ m}^2) (506^\circ\text{C} - 35^\circ\text{C}) = 680,5356 \text{ W} = 0,6805 \text{ kW}$$

Perpindahan panas yang terjadi antara *cover ladle* dengan udara sebesar sebesar **0,6805 kW**

Untuk mengetahui dampak kenaikan temperatur cairan logam setelah dilakukan perbaikan dari  $1369^\circ\text{C}$  menjadi  $1383^\circ\text{C}$  ke produk, dilakukan analisa secara simulasi *software* menggunakan program Magmasoft.



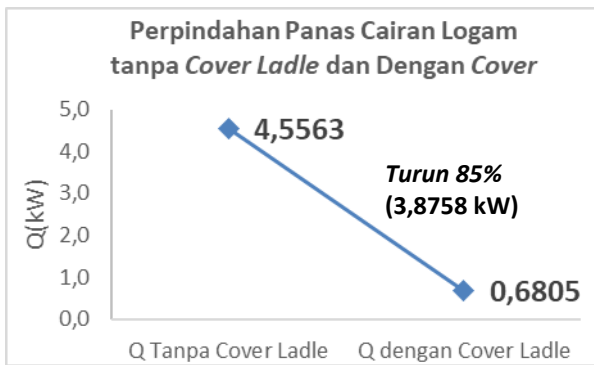
Gambar 22 Perbandingan simulasi temperatur  $1369^\circ\text{C}$  dan  $1383^\circ\text{C}$

Jadi, hasil simulasi pada temperatur  $1369^\circ\text{C}$  memiliki kecepatan tuang 17,744 detik dan luas temperatur  $1200^\circ\text{C}$  di 761,1160 mm<sup>2</sup>. Hasil simulasi pada temperatur  $1383^\circ\text{C}$  memiliki kecepatan tuang 17,704 detik dan luas temperatur  $1200^\circ\text{C}$  di 310,6596 mm<sup>2</sup>

### ANALISIS DATA

Setelah mendapatkan data perhitungan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi *ladle* tidak *dicover* dan *dicover*, terdapat perbedaan laju perpindahan panas yang terjadi, berikut adalah penurunan laju perpindahan yang terjadi pada cairan logam:

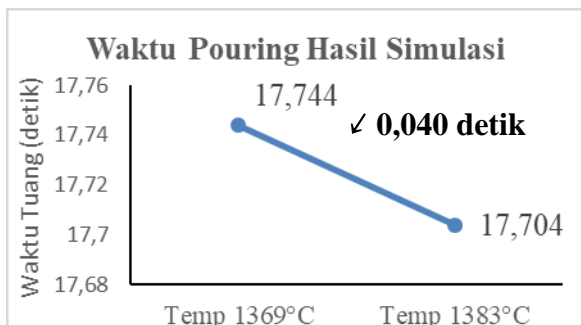
$$\text{Penurunan Laju Perpindahan Panas (Q) = Q tanpa cover - Q tidak dicover}$$



Gambar 23 Grafik penurunan laju perpindahan panas cairan logam dengan cover ladle

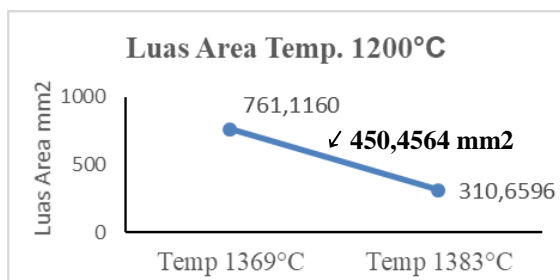
Penurunan laju perpindahan panas yang terjadi setelah menggunakan *cover ladle* adalah +/- 3,87 kW.

Selain membandingkan penurunan laju perpindahan panas yang terjadi setelah menggunakan *cover ladle* juga dibandingkan perbedaan temperatur tuang di *flask* ke-15 dengan *software* simulasi Magmasoft. Temperatur cairan logam yang diperoleh tanpa *cover ladle* adalah 1369°C dan setelah dicover adalah 1383°C. Dari simulasi berikut diketahui beberapa parameter yang berubah, seperti waktu tuang cairan logam dan luas area temperatur rendah. Berikut adalah perbedaan waktu tuang cairan logam hasil simulasi:



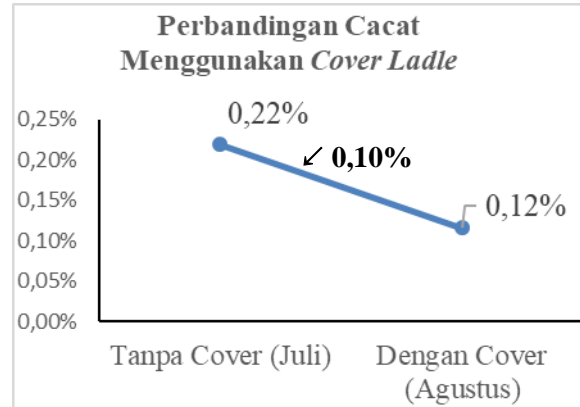
Gambar 24 Grafik penurunan waktu tuang karena kenaikan temperatur tuang

Selain waktu tuang turun, luas area temperatur rendah juga berkurang. Berikut data penurunan temperatur tuang:



Gambar 25 Grafik penurunan area temperatur rendah karena setelah dicover

Setelah parameter tuang mengalami perbaikan, dilakukan perbandingan kondisi cacat produk tanpa menggunakan *cover ladle* dan menggunakan *cover ladle*. Trial dilakukan selama 1 bulan pada bulan Agustus 2018 Berikut adalah data cacat yang terjadi pada posisi *tight plug 4 cope*:



Gambar 26 Grafik perbandingan cacat menggunakan cover ladle

Dengan menggunakan *cover ladle* pada line tuang cacat *pin hole tight plug* turun 0,10% kondisi ladle tanpa di cover.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa dan pengolahan data dapat disimpulkan:

1. Laju perpindahan panas yang terjadi pada cairan logam ke udara lingkungan pada proses tuang tanpa *cover* sebesar 4,5563 kW. Laju perpindahan panas yang terjadi pada cairan logam ke udara lingkungan pada proses tuang tanpa *cover* setelah menggunakan *cover ladle* adalah 0,6805kW. Sehingga *cover ladle* dapat mengurangi laju perpindahan panas yang terjadi pada proses tuang sebesar 3,8758 kW
2. Design *cover ladle* yang sesuai untuk proses di PT. X terbuat dari material Kaowool™ SZr memiliki konduktivitas thermal yang rendah dan massa jenis yang rendah. Untuk bentuk *cover* yang sesuai adalah menggunakan konsep segi 6 dengan total berat 7,0804 kg.
3. Setelah menggunakan alat *cover ladle* temperatur cairan logam di *flask* akhir naik 14°C. Dari hasil simulasi waktu tuang turun 0,040 detik/*flask* dan luas area temperatur rendah dari hasil simulasi awal turun 450,4564mm<sup>2</sup>. Hasil akhir cacat *pin hole area cope tight plug 4* turun dari 0,22% ke 0,12%.

## DAFTAR PUSTAKA

Beeley, P. (2001). *Foundry technology*. Elsevier.

- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2002). *Thermodynamics: an engineering approach*. Sea, 1000, 8862.
- Kathait, Dashrath Singh (2016). *Heat Loss in Ladle Furnace*. Vol. 03 number 07, July 2016. Diambil dari: <https://www.irjet.net/archives/V3/i7/IRJET-V3I7305.pdf> (20 Agustus 2017)
- Urquhart, R. C., Guthrie, R. I. L., & Howat, D. D. (1973). Heat losses from ladles during teeming. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 74(4), 132-139.
- Dr, E. G. Hoel, C.M. Ecob and D.S White (2005). *Heat Conservation In Liquid Iron*. Elkem Foundry Products
- Nunes, Rafael (2004). *Metals Handbook volume 15-CASTING*. Ebook
- Marrone, R. E., Wilkes, J. O., & Pehlke, R. D. (1970). NUMERICAL SIMULATION OF SOLIDIFICATION. PT. 2. LOW-CARBON STEEL CASTING-L SHAPE. *CAST METALS RES J*, 6(4), 188-192.
- Holpman, J.P., *Heat Transfer* 10<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 2010.
- Yunus, Asyari D., *Diktat Perpindahan Panas dan Massa*, Universitas Darma Persada, Jakarta, 2009.
- Mitrakusuma, Windy, H., *Diktat Dasar Refrigerasi- B2 Termodinamika dan Perpindahan Panas*, Paper.
- Yoder, John A, *DOE Handbook – Primer on Lead Acid Storage Batterie*, Department of Energy, Washington, D.C, 1995.