

ANALISA PERPINDAHAN PANAS PADA PENUANGAN BESI COR KELABU FC 200 PADA CETAKAN LOGAM

Muhsin R. Harahap, Anasir Effendi Siregar

Program Studi Teknik Mesin
Fakultas Teknik UISU Medan

Abstrak

Pada dasarnya jenis cetakan dibagi menjadi dua, yaitu cetakan permanen (*permanent mold*) dan cetakan semi permanen (*semipermanent mold*). Mengingat kebutuhan yang mendasar terhadap bahan cetakan serta efisiensi waktu proses pengecoran, maka berbagai penelitian mulai dikembangkan dalam rangka meningkatkan mutu cetakan permanen. Salah satunya adalah menerapkan cetakan permanen baja untuk proses pengecoran berbahan dasar logam baja atau besi. Metode penelitian yang dilakukan adalah melakukan percobaan pengecoran di Lab. Foundry Program Studi Teknik Mesin FT.;UISU. Besi cor FC 200 dileburkan pada tungku induksi berkapasitas 200 kg, 1200 Hz, 300 kW, 2400 volt AC pada temperatur lebur 1435°C. Hasil leburan dituang ke ladle dan selanjutnya dituang ke dalam cetakan baja karbon medium 0,3% yang dilapisi sebagian sisinya dengan Zircon Base Mold dan dipreheating terlebih dahulu pada temperatur 200°C. Hasil dan kesimpulan yang dicapai dalam penelitian ini adalah waktu pembekuan logam cair dalam cetakan berdasarkan analisis perhitungan dan simulasi masing-masing sebesar 1,14 menit dan 1,30 menit. Besar waktu tuang logam cair ke dalam cetakan yang layak adalah 3,15 detik. Permukaan hasil coran yang dihasilkan berkualitas baik.

Kata-Kata Kunci : Permanent Mold, Besi Cor FC 200, Logam Cair

I. PENDAHULUAN

Pada industri pengecoran, penggunaan baja sebagai bahan cetakan komponen-komponen mesin telah umum digunakan. Hal ini dikarenakan baja mempunyai sifat keuletan, kekuatan, kekerasan serta ketahanan aus dan ketahanan panas yang tinggi. Produk benda coran dari cetakan baja dapat berupa komponen yang berbahan besi cor, tembaga dan kuningan.

Pada dasarnya jenis cetakan dibagi menjadi dua, yaitu cetakan permanen (*permanent mold*) dan cetakan semi permanen (*semipermanent mold*). Cetakan semi permanen lebih banyak ditemukan dibandingkan cetakan permanen. Mengingat kebutuhan yang mendasar terhadap bahan cetakan serta efisiensi waktu proses pengecoran, maka berbagai penelitian mulai dikembangkan dalam rangka meningkatkan mutu cetakan permanen. Salah satunya adalah menerapkan cetakan permanen baja untuk proses pengecoran berbahan dasar logam baja atau besi.

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran temperatur cetakan selama proses solidifikasi. Pengukuran temperatur diharapkan dapat memberikan gambaran adanya perpindahan panas yang terjadi antara cetakan dengan logam coran. Dengan demikian dapat diketahui berapa temperatur bahan cetakan dan juga dapat diketahui temperatur tuang yang layak untuk bahan coran baja.

1.1 Gambaran Umum

Dalam pengecoran cetakan permanen, kadang-kadang disebut *gravity die casting*, logam coran yang mengandung dua atau lebih komponen yang digunakan secara berulang untuk memproduksi berbagai cetakan dalam bentuk yang sama. Logam cair masuk ke dalam cetakan dengan efek gravitasi. Inti yang digunakan bersifat mudah dilepas dan

biasanya terbuat dari pasir atau kapur (gips). Proses pengecoran cetakan permanen pada umumnya cocok untuk memproduksi cetakan dalam jumlah volume yang tinggi dengan tebal dinding yang rapat dan menghalangi terjadinya *undercuts* serta menghalangi terjadinya pengintian dalam. Proses tersebut juga dapat digunakan untuk menghasilkan berbagai variasi coran, namun harus diimbangi dengan jumlah produksi yang tinggi untuk menutup biaya material coran. Dibandingkan dengan cetakan pasir, proses pengecoran cetakan permanen dapat menghasilkan cetakan yang lebih seragam dengan toleransi dimensional yang akurat, permukaan akhir yang baik serta meningkatkan sifat-sifat mekaniknya.

1.2 Pemilihan Material Inti dan Coran

Ada empat faktor penting yang mempengaruhi pemilihan material dari inti dan cetakan :

1. Temperatur penuangan logam yang akan dicor
2. Ukuran pengecoran
3. Jumlah pengecoran per cetakan
4. Biaya atau harga material cetakan

Material inti yang diperkenankan berdasarkan performa berapa banyak pengintian yang diperlukan untuk inti besar dan kecil. Inti yang telah habis digunakan pada saat bentuk inti tidak diijinkan dilepas dari cetakan atau ketika ingin diperoleh coran dengan bentuk yang rumit.

1.3 Umur Cetakan

Umur cetakan dapat berubah mulai dari 100 hingga 250.000 kali penuangan (atau bisa lebih), tergantung pada variabel-variabel tertentu. Umur cetakan untuk pengecoran paduan magnesium lebih lama jika dibandingkan pada pengecoran paduan aluminium dengan bentuk dan ukuran yang serupa. Hal ini karena magnesium lebur tidak merusak

cetakan logam besi. Walaupun demikian, perbedaan umur cetakan untuk paduan magnesium tergantung pada besarnya keefektifan pelapisan cetakan yang digunakan. Dalam pengecoran besi kelabu, umur cetakan diperkirakan pendek dibandingkan pada pengecoran paduan aluminium dengan bentuk yang sama.

Cetakan biasanya dibuat dari besi tuang (cast iron) karena pengecoran cetakan memungkinkan lebih mudah dalam pengerjaan akhirnya sehingga dapat menurunkan biaya pemesinan. Begitu juga sifat besi tuang yang lebih tahan terhadap pengaruh rusak akibat aluminium lebur. Namun baja lebih mudah untuk dilas dan diperbaiki daripada besi tuang. Oleh karena itu, cetakan baja lebih sering digunakan untuk pengecoran produksi tinggi.

1.4 Temperatur Cetakan

Jika temperatur cetakan terlalu tinggi, maka akan terjadi beban tahanan yang besar sehingga coran akan menjadi terlalu lemah untuk diambil dengan tanpa merusak, sifat-sifat mekanik dan pengecoran akhir tidak akan sempurna. Pada saat temperatur cetakan terlalu rendah, maka aliran logam akan terhambat sehingga akan menyebabkan penyusutan, serta pelekatan coran pada cetakan dan inti

Dalam beberapa operasi pengecoran, cetakan dilakukan pemanasan mula (*preheating*) sampai dengan sekitar temperatur operasi sebelum pengecoran dimulai. Hal ini bertujuan mengurangi jumlah produk coran yang tidak diinginkan selama dilakukan operasi pada temperatur tersebut.

Cetakan dapat dipreheat dengan mengenaikannya pada nyala api secara langsung, meskipun cara ini dapat merusak cetakan karena adanya distribusi temperatur yang tidak seragam. *Preheating* yang dilakukan di dalam *oven* secara langsung adalah cara terbaik karena dapat meminimalisasikan timbulnya gradien temperatur. Namun, cara ini tidak biasa dilakukan pada cetakan yang ukurannya besar. Pengecoran pada cetakan permanen umumnya dilakukan dengan menuang logam yang dijaga pada rentang temperatur yang cukup kecil.

Jika temperatur penuangan lebih rendah daripada temperatur optimumnya, lubang cetakan tidak akan terisi, saluran masuk (jika digunakan) tidak akan terikat, bagian coran yang tipis akan lebih cepat membeku dan akan menghambat arah pembekuan. Temperatur penuangan yang rendah juga akan membawa akibat porositas, serta pengecoran yang tidak sempurna.

Temperatur penuangan yang tinggi menyebabkan penyusutan dan kelengkungan bentuk cetakan yang dapat mengarah pada ketidakakuratan dimensi. Hal ini juga dapat menyebabkan adanya variasi komposisi logam coran jika logam menguap pada temperatur penuangan yang tinggi. Temperatur penuangan yang tinggi akan mengurangi laju pembekuan dan kebanyakan akan memperpendek umur cetakan.

1.5 Distribusi Temperatur

Selain daripada tekanan yang terjadi pada cetakan karena gaya hidrostatik, beban panas, maka

ada hal lain yang penting perhitungkan terhadap panas yang terjadi beban panas yang terjadi langsung pada cetakan.

Pada akhirnya temperatur coran sama dengan temperatur cetakan. Pengaruh panas terjadi pada cetakan yang berasal dari panas logam cair secara perpindahan menuju ke logam cetakan.

1.6 Sifat Logam Cair Terhadap Sekelilingnya

Taraf kecairan logam cair hampir mirip mendekati taraf kecairan air murni. Tetapi kecairan logam ini mudah memburuk, yaitu apabila larutan logam ini mulai mendingin terutama pada temperatur di bawah temperatur likuidus, karena di bawah temperatur ini mulai terjadi kristal-kristal yang mendingin dengan turunnya temperatur di sekelilingnya.

Logam yang sedang dalam proses pendinginan, pada taraf permulaan pendinginannya larutan logam ini masih memiliki kemampuan untuk mengalir atau bergerak hingga batas kristal-kristal logam di sekelilingnya belum cukup mampu untuk membendung aliran logam ini. Menurut penelitian, logam tidak memiliki mampu alir apabila telah terjadi kristalisasi logamnya mencapai 20% hingga 25%.

1.7 Pembekuan Logam

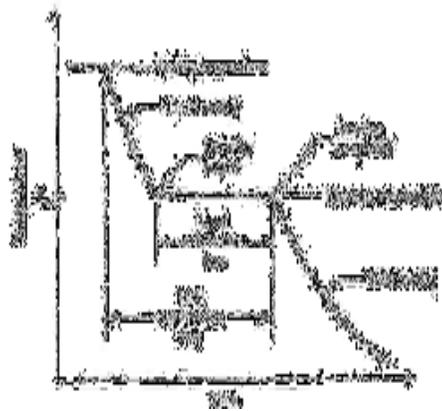
Sebagaimana diketahui bahwa proses pengecoran adalah proses yang mana logam lebur dialirkan ke dalam cetakan dengan gaya gravitasi sehingga membeku dan membentuk model seperti pola yang ada pada cetakan.

Secara sederhana tahapan proses pengecoran terbagi menjadi tiga, yaitu :

1. Peleburan logam
2. Penuangan logam lebur ke dalam cetakan
3. Pembekuan logam lebur dalam cetakan

Beberapa parameter penuangan digunakan dalam menganalisa permasalahan, seperti temperatur penuangan.

Pembekuan adalah proses transformasi logam lebur menjadi logam padat di dalam cetakan yang disebut coran. Derajat dan laju pembekuan berbeda tergantung apakah logam yang memadat adalah logam murni atau logam paduan.



Gambar 1. Kurva Pendinginan Dari Logam Murni Selama Pengecoran

Dari Gambar 1 diketahui bahwa logam murni membeku pada temperatur konstan yang sama dengan titik leburnya. Laju pembekuan tergantung dari panas yang berpindah ke cetakan yang sesuai dengan sifat-sifat termal logam yang membeku. Laju pembekuan tergantung juga pada waktu yang dibutuhkan selama pengecoran sehingga didapatkan pembekuan logam di dalam cetakan. Dalam pengecoran istilah ini disebut sebagai *Total Solidification Time (TST)*. Total *solidification time* tergantung pada bentuk dan ukuran logam coran yang dihubungkan dengan *Chvorinov's Rule*.

II. METODE PENELITIAN

2.1 Penyiapan Peralatan

Sebelum dilakukan percobaan, dilakukan penyiapan peralatan yang akan digunakan dalam percobaan. Penyiapan peralatan ini merupakan proses yang harus direncanakan terlebih dahulu, sehingga dalam pelaksanaan percobaan tidak mengalami gangguan dikarenakan kurang lengkapnya peralatan. Peralatan-peralatan yang digunakan berdasarkan proses percobaan meliputi

1. Proses sebelum pengecoran

Proses sebelum pengecoran meliputi *surface treatment* dan *heat treatment*. *Surface treatment* berupa pembersihan, penghalusan, dan pelapisan permukaan. Peralatan yang digunakan antara lain gerinda, amplas, dan *Coating Mold Zr Base*. *Heat treatment* berupa *preheating* cetakan pada temperatur 200°C. Peralatan yang digunakan adalah gas LPG 15 kg dan burner.

2. Proses pengecoran

Proses pengecoran menggunakan material dasar besi cor kelabu FC 200 dan tungku peleburan induksi serta ladle yang digunakan untuk menuang logam cair ke dalam cetakan. Selama pengecoran dilakukan pengukuran temperatur dengan menggunakan termokopel.

3. Proses setelah pengecoran

Proses setelah pengecoran berupa pembongkaran spesimen coran dari cetakan. Pembongkaran dilakukan dengan menggunakan ejektor dan pemukul.

2.2 Material Dasar

Material dasar yang digunakan adalah besi cor kelabu FC 200. Sifat-sifat mekanik standar besi cor kelabu FC 200 adalah

- Kekuatan tarik ≥ 200 N/mm
- Flextural performance = beban 10000-11000 N, defleksi 4.50 - 5 mm
- Kekerasan Brinell = 170-210 BHN

Sedangkan komposisi standar material besi cor kelabu FC 200 adalah

- C = 3,2-3,4%
- Si = 2.1-2,3%
- Mn = 0,5-0,8%
- P = $< 0,4\%$
- S = $< 0,12\%$

2.3 Peleburan dan Penuangan

Proses pengecoran dilakukan di Lab FOUNDRY program studi teknik mesin FT UISU. Peleburan besi cor kelabu FC 200 menggunakan tungku induksi kapasitas 75 kg dengan spesifikasi

Merk : Inductotherm-Australia

Frekuensi : 1200 Hz

Power : 35 kW

Voltage : 2400 volt AC

Temperatur peleburan material FC 200 mencapai 1435°C. Setelah FC 200 cair, sebelum proses penuangan dilakukan pengecekan komposisi unsur-unsur C, Si. Setelah komposisi sesuai dengan spesifikasi standar FC 200, cairan logam siap dituang ke dalam cetakan.

Penuangan logam cair ke dalam cetakan dilakukan dengan menggunakan *ladle* berdiameter 210 mm. Temperatur penuangan logam cair ke dalam cetakan sebesar 1325°C. Besarnya temperatur tuang ini disesuaikan dengan besar temperatur lebur besi cor dan lamanya waktu cor yang dibutuhkan.

Selama penuangan logam cair ke dalam cetakan dilakukan pengukuran temperatur pada cetakan baik cetakan yang dicoating maupun tidak.

2.4 Pembongkaran

Setelah proses pengecoran, coran yang telah dipastikan dingin dibongkar dari cetakan. Pembongkaran dilakukan dengan memukul pin yang tertanam pada ejektor yang telah dipasang sebelum pengecoran.

III. PEMBAHASAN

Data-data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah pengukuran temperatur logam cair dan cetakan selama pengecoran.

3.1 Data Temperatur

Temperatur Logam Cair

Pengukuran temperatur logam cair dilakukan pada saat peleburan besi cor kelabu FC 200 dan penuangan logam cair ke dalam cetakan.

- Temperatur lebur besi cor dalam tungku induksi (*tapping temperatur*) = 1435° C
- Temperatur penuangan logam besi cor cair ke dalam cetakan = 1325° C (berdasarkan literatur)
- Berdasarkan pengujian-pengujian yang telah dilakukan, diperoleh data temperatur *drop* = 15° C/detik

Temperatur Cetakan

Pengukuran temperatur cetakan dilakukan pada saat *preheating* dan penuangan logam cair ke dalam cetakan.

- Temperatur *preheating*
- Temperatur pengecoran diukur pada saat logam cair dituang ke dalam cetakan. Temperatur yang diukur adalah temperatur cetakan

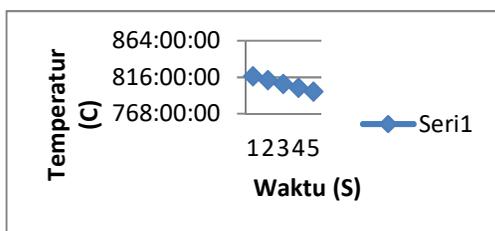
Tabel 1. Temperatur Pengecoran

No	t(s)	T 1 (°C)	T 2 (°C)
1	25	817.5	115
2	45	812.5	120
3	85	807.5	125
4	125	802.5	135
5	165	797.5	140

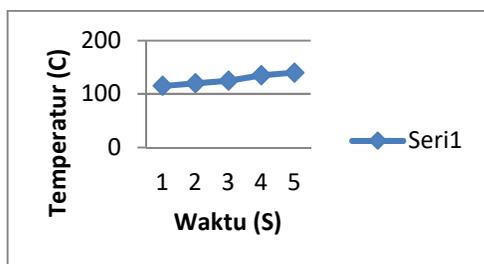
3.2 Pembekuan Logam Cair

Analisa pembekuan logam cair terjadi pada saat logam cair berada pada *ladle* dan pada saat penuangan ke dalam cetakan. Material dasar setelah mengalami peleburan di dalam tungku induksi, selanjutnya dituang ke dalam *ladle* sesaat sebelum dituang ke dalam cetakan. Temperatur yang terukur pada saat penuangan dari tungku induksi ke dalam *ladle* adalah temperatur logam cair *superheated* sebesar 1435° C (*tapping* temperatur). Panas yang terbuang dari logam cair terdiri dari *sensible heat* (panas zat cair) dan panas laten. Panas yang terbuang dari cairan logam adalah

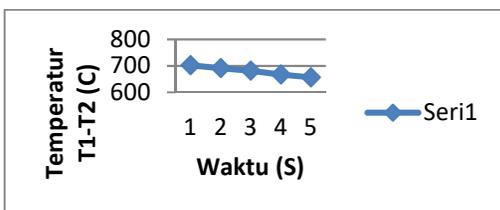
Rugi-rugi panas yang terjadi adalah akibat perpindahan panas secara konveksi dan radiasi pada permukaan atas cairan logam dan akibat konduksi ke seluruh dinding *ladle*. Dengan mengasumsikan bahwa dinding *ladle* merupakan isolator sempurna, maka rugi-rugi panas akibat konduksi dapat diabaikan. Temperatur logam cair di dalam *ladle* menurun dari *T1* ke *T2* pada saat logam cair mendingin dan akan menjadi tetap pada temperatur *T2* pada saat logam cair membeku.



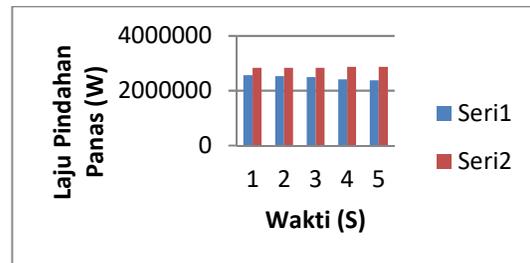
Gambar 2. Hubungan Waktu (S) Dengan Temperatur (T1)



Gambar 3. Hubungan Waktu (S) Dengan Temperatur (T2),



Gambar 4. Hubungan Waktu (S) Dengan Temperatur (T1-T2)



Gambar 5. Hubungan Waktu (S) Dengan Laju Pindahan Panas

3.3 Perpindahan Panas pada Cetakan

Perbedaan utama dalam menganalisa perpindahan panas yang terjadi antara cetakan permanen (*permanent mold*) dengan cetakan tersekat (*insulating mold*) adalah bahwa material cetakan pada *permanent mold* memiliki konduktivitas termal lebih besar dan waktu pembekuan yang lebih cepat dibandingkan pada *insulating mold*.

Di dalam *insulating mold* laju perpindahan panas pada cetakan pasir terbatas. Sedangkan dalam *permanent mold* pembatasan laju perpindahan terjadi pada batas antara cetakan dengan logam coran, dimana panas berpindah diantara logam yang memadat dan cetakan. Parameter yang mendefinisikan perpindahan panas antara logam dan cetakan dinamakan koefisien perpindahan panas *h*.

3.4 Temperatur Penuangan

Pengecoran cetakan permanen pada umumnya dilakukan dengan menuang logam yang dijaga pada rentang temperatur yang cukup kecil. Rentang ini dibuat dengan mempertimbangkan komposisi dari logam yang akan dituang, ketebalan dinding coran, pendinginan cetakan, pelapisan cetakan, dan sistem *gating* yang digunakan. Jika temperatur penuangan lebih rendah daripada temperatur optimumnya, lubang cetakan tidak akan terisi, saluran masuk (jika digunakan) tidak akan terikat, bagian coran yang tipis akan lebih cepat membeku dan akan menghambat arah pembekuan. Temperatur penuangan yang rendah juga akan membawa porositas, serta pengecoran yang tidak sempurna.

Temperatur penuangan yang tinggi menyebabkan penyusutan dan kelangkaan bentuk cetakan yang dapat mengarah pada ketidakakuratan dimensi. Hal ini juga dapat menyebabkan adanya variasi komposisi logam coran, jika logam menguap pada temperatur penuangan yang tinggi. Temperatur penuangan yang tinggi juga mengurangi waktu pembekuan (yang selanjutnya akan menurunkan laju produksi) dan kebanyakan akan memperpendek umur cetakan.

Besarnya temperatur penuangan disesuaikan dengan temperatur lebur logam coran. Temperatur penuangan harus lebih tinggi dibandingkan temperatur lebur. Hal ini dikarenakan adanya temperatur *drop* pada saat penuangan sehingga logam cair membeku lebih cepat.

Dari data empiris pengujian-pengujian yang dilakukan sebelumnya besarnya temperatur *drop* adalah 15°C/detik. Artinya, dalam satu detik terjadi penurunan temperatur sebesar 15°C. Untuk

mencegah perubahan fasa yang mengakibatkan logam tidak melebur sempurna, maka temperatur tuang dibuat lebih tinggi dari temperatur leburnya namun tidak melebihi temperatur optimumnya sehingga komposisi logam coran tidak berubah jika logam menguap. Begitu juga jika temperatur tuang terlalu tinggi, maka akan terjadi penyusutan (*shrinkage*).

Dalam praktiknya, seringkali dalam pengecoran tidak terlalu diperhatikan besar temperatur penuangan yang diinginkan. Hanya saja parameter yang dijadikan pedoman dalam menentukan temperatur tuang adalah temperatur lebur logam coran dan berdasarkan pengalaman dari pengujian-pengujian yang dilakukan sebelumnya. Namun demikian, temperatur penuangan hasil perhitungan diatas setidaknya sesuai dengan lama waktu yang dibutuhkan dalam menuang logam cair ke dalam cetakan dalam pengujian yang kami lakukan.

IV. KESIMPULAN

1. Cetakan tetap (permanent mold) dari baja karbon medium 0,3% dapat dipakai untuk pengecoran besi cor FC 200 pada temperatur tuang 1325° C.
2. Besi cor FC 200 cair pada temperatur 1435° C dengan berat 10 kg mempunyai energi panas $2,72 \times 10^5$ J
3. Pelapisan pada cetakan dengan *Zircon Base Mold* dapat mengurangi kerusakan permukaan.
4. Dibuat percobaan berulang untuk mengetahui ketahanan cetakan permanen baja untuk pengecoran besi cor.
5. Perubahan dimensi, kehalusan permukaan dan cacat coran perlu diteliti lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angus H.T, 1976, *Cast Iron Physical and Engineering Properties*, Butterworths, London
- [2] D.R. Poirier and E.J. Poirier. 1994, *Heat Transfer Fundamentals for Metal Casting*, TMS, Pennsylvania.
- [3] Holman J.P, 1995, *Perpindahan Kalor*, Penerbit Erlangga : Jakarta
- [4] Groover M.P, *Fundamental of Metal Casting Fundamental of Modern Manufacturing* ([http://www.castingfundwilley.com/articles/Ch10 CastingFund](http://www.castingfundwilley.com/articles/Ch10%20CastingFund) Wiley.ppt)
- [5] Groover M.P, *Fundamental of Metal Castings, Fundamental of Modern Manufacturing* ([http://www.castingfundwilley.com/articles/Heat Transfer.](http://www.castingfundwilley.com/articles/Heat%20Transfer))
- [6] Prof. Karl B. Rundman, *Metal Casting*, Dept. of Materials Science and Engineering Michigan Tech. University, Michigan.