

NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR
PENGARUH MEDIA PENDINGINAN TERHADAP STRUKTUR
MIKRO DAN KEKERASAN PADA BESI COR



disusun guna memenuhi Tugas Akhir pada
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun :

WAHYU DARMADI

NIM : D200080078

JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA

2015

HALAMAN PENGESAHAN NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Tugas akhir ini berjudul “**PENGARUH MEDIA PENDINGINAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA BESI COR**”, telah disetujui oleh Pembimbing dan diterima untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : Wahyu Darmadi

NIM : D 200.080.078

Disetujui pada :

Hari : Jumat

Tanggal : 23 - 10 - 2015

Pembimbing Utama



Ir. Ngafwan, MT

Pembimbing Pendamping



Joko Sedyono, ST., M.Eng., Ph.D.

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Tri Widodo Besar Riyadi, S.T. M.Sc. Ph.D.

PENGARUH MEDIA PENDINGINAN TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEKERASAN PADA BESI COR

Wahyu Darmadi, Ngafwan, Joko Sedyono
Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartosuro
email : wahyu130dmk@gmail.com

ABSTRAKSI

Besi cor merupakan paduan besi yang mengandung karbon 2-4 % , silicon 1,10%, mangan 1-15%, fosfor 0,05-15%, dan belerang. Pada temperatur 910 °C strukturnya adalah Austenite, ledeburite, Cementite. Pada temperatur 710 °C struktur Austenit secara pendinginan normal mengalami perubahan struktur menjadi pearlite. Untuk merubah jumlah pearlite yang terbentuk pada saat pendinginan besi cor maka pendinginan dilakukan dengan metode pendinginan menggunakan media. Metode pendinginan yang digunakan adalah pendinginan menggunakan udara, oli dan paslin. Proses perlakuan pendinginan besi cor dilakukan dengan cara besi dituang dalam cetakan kemudian didiamkan sampai ketitik jenuh (merah layu) lalu dibongkar dan di masukkan dalam oli, paslin dan didiamkan pada udara bebas (suhu ruangan 20-25 °C).

Uji yang dilakukan adalah pengujian kekerasan, struktur mikro dan untuk mengetahui unsur yang ada dalam besi cor tersebut menggunakan CE meter. Penurunan temperatur hasil dari CE meter untuk mengetahui awal mula suhu coran pada waktu dituangkan yaitu 1267,5 °C dengan penuangan di cup pada alat tersebut selanjutnya dapat dilihat pada diagram, temperatur coran masih berbentuk liquid mencapai suhu 1216,3 °C dan akan mulai memadat pada temperatur 1129,9 °C sampai coran benar – benar berubah suhu saat proses quenching pada suhu kamar 20- 25°C. Komposisi yang dapat dihitung dari alat CE meter adalah carbon dan silicon saja dengan hasil bahwa kandungan carbon 3,39% dan silicon 1,10% sedangkan unsur – unsur yang lain tidak dapat diukur dari alat tersebut.

Dari hasil penelitian dan analisa data dari uji kekerasan diperoleh nilai rata – rata kekerasan Brinnell pada pendinginan udara 418,56 HB, Oli 477,20 HB, paslin 432,64. Hasil uji struktur mikro dapat diketahui dengan melihat hasil foto metalografi pada pendinginan terbentuk ledeburit dan cementite. Pada pendinginan udara ledeburite ke cementitnya persentasenya lebih kecil, di pendinginan menggunakan paslin akan terbentuk cementite yang lebih banyak dibandingkan pada udara dan untuk oli cementite lebih banyak dibandingkan dengan udara maupun paslin serta kandungan ledeburit semakin sedikit dikarenakan pada waktu pendinginan cepat ledeburite yang ada sebagian besar akan berubah menjadi cementite untuk perlite pada pendinginan oli bergerombol besar tidak teratur sedangkan di pendinginan paslin perlite merata sedangkan di pendinginan udara perlite akan membentuk susunan yang rapi.

Kata kunci : Besi Cor, Pendinginan, Kekerasan, Foto Mikro

Latar belakang

Ilmu bahan logam digolongkan dalam kelompok logam Ferro yaitu logam yang mengandung unsur besi dan non Ferro merupakan logam bukan besi. Proses pengolahan logam harus memperhatikan jenis logam dan sifatnya terutama pada proses pembentukan.

Pengecoran dapat diartikan sebagai suatu proses manufaktur dengan menggunakan material cair dan cetakan untuk menghasilkan bagian-bagian dengan bentuk yang mendekati bentuk geometri akhir produk. Pengecoran dapat dilakukan menggunakan material yang berupa cair, contoh adalah material logam cair, termoplastik dan material lain yang dapat menjadi cair atau pasta ketika dalam kondisi basah seperti tanah liat yang akan menjadi keras saat dalam kondisi kering.

Besi cor merupakan paduan besi yang mengandung karbon, silisium, mangan, fosfor, dan belerang. Unsur karbon dalam besi cor berupa sementit, karbon bebas atau grafit. Besi cor memiliki keuletan yang relatif rendah sehingga tidak dapat ditempa, diroll atau didrawing, dari diagram Fe C percepatan pendinginan menghasilkan perubahan fisis

Penggunaan besi cor cukup luas karena besi cor ini memiliki sifat khusus seperti mudah dituang pada saat kondisi cair sehingga banyak digunakan di industri pengecoran logam, kandungan karbon di besi kelabu antara 2,5 % - 3,5 % dan sebagian besar besi cor kelabu memiliki grafit dalam bentuk serpih yang biasanya dikelilingi oleh ferit atau perlit. Besi kelabu memiliki nilai keuletan yang sangat rendah sehingga apabila mengalami gaya tarik akan terbentuk bidang patahan

karena grafit yang menyerupai maka sangat rapuh dan getas. Besi cor merupakan bahan peredam getaran yang baik atau kapasitas redamanya tinggi dan memiliki struktur mikro perlitik, feritik, martensit dan bainitik setelah mengalami perlakuan panas yang sesuai sehingga dalam penelitian ini perlu analisa perlakuan panas dalam hal pendinginan cepat besi cor dengan media grease, udara, oli. dapat ditentukan temperatur percepatan agar dapat terbentuk struktur mikro yang diharapkan.

Kemudian pada penelitian sebelumnya telah dilakukan yaitu metode pendinginan dengan menggunakan air karena murah serta sistemnya sederhana. Kekurangannya ia mudah membentuk selimut uap yang menutupi permukaan komponen, sehingga menghasilkan pendinginan tidak seragam dipenampang permukaan yang luas. Pemanfaatannya terbatas pada industri perlakuan panas. Eliminasiya di tambahkan Na/Ca Chloride, membutuhkan *closed system*. (Ricky septian 2012)

Pada penelitian, peneliti melakukan penelitian dengan material besi cor dengan pendinginan dan cetakan menggunakan grease, oli, dan udara.

Rumusan Masalah

Pada penelitian ini dirumuskan yaitu untuk memprediksi fenomena perubahan struktur mikro akibat percepatan pendinginan pada pengecoran. Pengujian yang dilakukan adalah:

1. Sifat Fisis (Struktur Mikro)
2. Sifat Mekanis (Kekerasan)
3. komposisi kimia

4. Proses perambatan pendinginan dengan CE meter

. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam pengujian pengaruh percepatan pendinginan pada besi cor terhadap sifat fisis dan sifat kekerasan yaitu :

1. Material yang dipakai Besi cor kelabu menggunakan tungku tukik kupola di ceper Klaten dari CV. Reka Cipta Tehnindo Perkasa
2. Data yang diambil adalah tentang sifat fisis dan sifat mekanik.
3. Dituang dicetakan baja dengan asumsi waktu sampai dikeluarkan
4. Pendinginan dilakukan dengan 3 media yaitu
 - a. Paslin merek Rotary
 - b. Oli Bekas merek Ultratech
 - c. Udara

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa besi cor dengan pendinginan cepat menggunakan media tertentu terhadap

1. Sifat fisis meliputi struktur mikro.
2. Sifat mekanis meliputi pengujian kekerasan.
3. Komposisi Kimia CE meter
4. Laju perambatan pendinginan

Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberi manfaat baik bagi penulis, masyarakat luas, dunia

pendidikan dan industri antara lain:

1. Peneliti mendapat ilmu dan pengetahuan baru dari penelitian tentang besi cor.
2. Untuk mengetahui sifat mekanis besi cor kelabu pada umumnya sehingga dapat membantu industri pengecoran logam
3. Mampu mengembangkan pengecoran logam.

Mengetahui laju pendinginan besi cor hasil coran dengan pendinginan dengan media dan waktu tertentu.

Dasar Teori

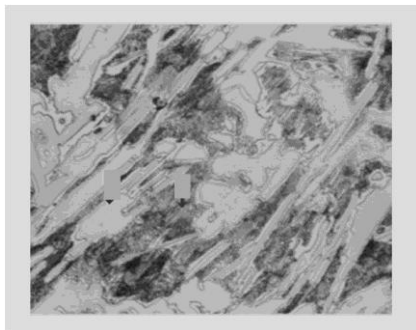
Besi cor merupakan paduan antara unsur besi yang mengandung *carbon* (C), *silica* (Si), mangan (Mg), phosphor (P), dan sulfur (S). Pada besi cor karbon biasanya antara 2% sampai 6,67%, sedang pada baja kandungan karbon hanya mencapai 2%. Semakin tinggi kadar karbon yang ada pada besi cor akan mengakibatkan besi cor rapuh/getas. Selain dari itu karbon besi cor juga mengandung silikon (Si) (1-3%), mangan (0,25-15%), dan phosphor (P) (0,05-15%), selain itu juga terdapat unsur-unsur lain yang ditambahkan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu.

Selain unsur-unsur yang ditambahkan dalam besi cor, juga terdapat faktor-faktor penting lainnya yang dapat mempengaruhi sifat-sifat besi cor tersebut antara lain proses pembekuan, laju pendinginan dan perlakuan panas yang dilakukan. Besi cor mempunyai keuntungan yaitu mampu tuang (*castability*) yang baik, kemudahan proses produksi dan rendahnya temperatur ruang, selain itu besi cor juga mempunyai sifat yang sulit dilakukan *drawing* atau diubah bentuknya pada temperatur kamar, akan tetapi besi cor memiliki titik lebur yang relative rendah yakni 1150°C –

1300°C dan dapat dituang kedalam bentuk-bentuk yang sulit. Hal ini merupakan keuntungan dari besi cor karena untuk mendapatkan bentuk benda yang diinginkan hanya diperlukan sedikit proses pemanasan. Dan besi cor mempunyai kekerasan, ketahanan aus dan ketahanan terhadap korosi yang cukup baik.

Klasifikasi Besi Cor

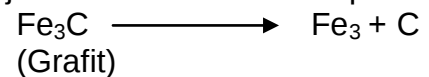
Besi cor putih mempunyai bidang patahan yang putih, karbon disini terikat sebagai karbida yang bersifat keras, sehingga besi cor putih yang mengandung karbida sulit dilakukan permesinan. Besi cor putih dibuat dengan menuang besi cor kedalam cetakan logam atau cetakan pasir dengan pengaturan komposisi. Untuk mengolahnya dapat menggunakan dapur kopula atau tanur udara. Prosesnya dikenal dengan nama duplek. Dengan cara ini logam dapat dikendalikan dengan baik.



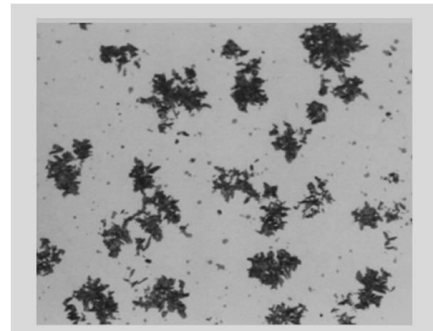
Gambar 1. besi cor putih (Widodo R, 2010)

Besi *malleable* dapat didefinisikan secara mikrostruktur sebagai paduan besi (*ferrus alloy*) yang dikomposisikan dengan karbon temper dalam satu matriks ferit yang mengandung silikon cair. Strukturnya merupakan hasil *heat treatment* terhadap coran besi cor putih. Sifat-sifat besi cor *malleable* biasanya dihubungkan dengan metalografinya. Penggolongan besi cor *malleable* berdasarkan pada tingkatan sifat-sifat mekanis utamanya terletak pada

struktur mikro pembentukannya Ferit, perlit, karbon temper atau gabungan dari semuanya. Karena *mechanical property*s dari besi cor *malleable* ini didominasi dari struktur mikronya maka kemampuannya relatif tergantung dari kekerasan matriks penyusunnya tersebut. Untuk besi cor *malleable* dengan matrik ferit mempunyai keuletan yang maksimum tetapi kekuatan tariknya rendah dibandingkan dengan besi cor *malleable* dengan matrik perlit yang memiliki nilai kekerasan dan kekuatan tarik tinggi tetapi keuletan lebih rendah dari besi cor fertik. Proses perlakuan panas besi cor *malleable* mengubah karbida-karbida perlit dari besi cor putih menjadi ferit dan karbon temper.



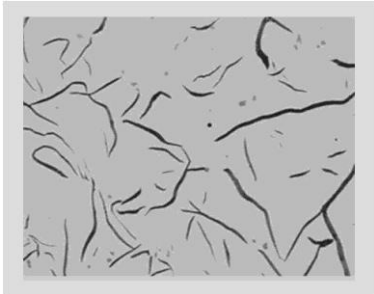
Secara kimia *heat treatment* menyebabkan suatu perubahan dari karbon campuran menjadi grafit dan karbon temper. Kandungan karbon campuran umumnya kurang dari 0,15% dari berat total setelah *heat treatment*.



Gambar 2. besi cor *malleable* (Widodo R, 2010)

Besi cor dengan kadar silikon tinggi (2% Si) dengan membentuk grafit dengan mudah sehingga Fe_3C tidak terbentuk. Serpih grafit terbentuk dalam logam sewaktu membeku. Terlihat dalam gambar ini serpih grafit pada penampang logam yang telah dipolish. Besi cor kelabu sangat rendah angka keuletannya sehingga apabila kita tarik maka akan terbentuk bidang perpatahan karena grafit yang

menyerupai maka sangat rapuh. Besi cor kelabu merupakan peredam getaran yang baik atau kapasitas redamnya tinggi. Besi cor dapat mempunyai struktur mikro perlitik, feritik, martensit dan bainitik setelah laku panas yang sesuai.

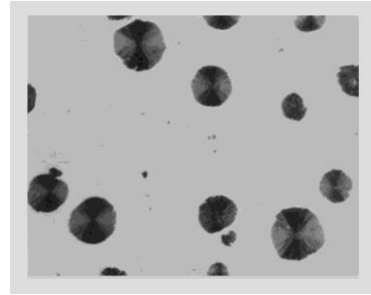


Gambar 3. struktur besi cor kelabu (Widodo R, 2010)

Hasil dari percobaan laboratorium menunjukkan bahwa struktur mikro dari besi cor yang mudah membentuk grafit dapat berubah apabila ditambah sedikit magnesium atau serium pada logam cair. Bentuk grafit yang bulat, *sferoid* (nodul) merubah keuletan besi cor kelabu. Besi cor kelabu biasa hampir tidak memiliki keuletan, akan tetapi besi cor nodular memiliki perpanjangan 10-20%. Meskipun mengenai perubahan struktur mikro ini sangat rumit, pengaruh praktisnya sangat besar. Besi cor yang telah diolah demikian dapat digunakan sebagai proses engkol dan tidak bersifat rapuh. Besi cor nodular seperti besi tuang kelabu dapat mengalami laku panas menjadi perlit, ferit ataupun martensit temper, sehingga dapat membentuk besi cor yang kuat.

Besi cor bergrafit bulat (nodular) memiliki keunggulan dibanding besi cor yang lain. Besi cor kelabu (*gray iron*) bersifat keras namun getas, besi cor mampu tempa memiliki keuletan tertentu, tahan terhadap gesekan dan mampu tempa yang baik. Sedangkan besi cor nodular memiliki keuletan yang tinggi, *machinability* yang baik dan juga kekuatan yang baik, ketangguhan, *workability* dan

hardenability, sehingga menawarkan banyak keuntungan (Widodo R, 2010).



Gambar 4. struktur besi cor nodular (Widodo R, 2010)

perlakuan panas pada besi cor. Klasifikasi besi cor adalah paduan antara besi dan carbon yang mengandung lebih dari 2% carbon. Besi cor yang umum mengandung 2.5 – 4% carbon. Unsur tambah pada besi dan carbon pada besi cor yang komersial seperti halnya pada baja yang umumnya mengandung sedikit Si, Mn, P dan S. Untuk besi cor paduan mengandung Cr, Ni dan Al. Keberadaan carbon pada besi cor ada dua macam :

- a. carbon bebas tak terikat dengan besi disebut grafit (C)
- b. carbon terikat dengan besi disebut cementite (Fe_3C).

Untuk besi cor yang banyak mengandung grafit disebut besi cor kelabu (*grey cast iron*) karena warna penampang patahan adalah kelabu. Besi cor ini bersifat *brittle* (rapuh) tidak tahan beban kejut, ketahanan beban tinggi. Untuk besi cor yang banyak mengandung *cementite* disebut besi cor putih karena warna patahannya putih. Besi cor ini sangat keras, sifat mampu mesinnya rendah

Proses *Heat Treatment* secara umum

- a. Pemanasan sampai suhu dan kecepatan tertentu
- b. Mempertahankan suhu untuk waktu tertentu sehingga suhunya merata.

- c. Pendinginan dengan media pendingin (air,minyak atau udara)
- Syarat-syarat *heat treatment*:
1. Suhu pemanasan harus naik secara teratur dan merata.
 2. Alat ukur suhu hendaknya seteliti mungkin.

Baja menjalani perlakuan panas bertujuan untuk memperbaiki struktur dan untuk mendapatkan sifat-sifat mekanik yang lebih besar. Sehingga perlakuan panas dapat pula diartikan suatu proses perubahan struktur dari suatu logam dengan cara pemanasan logam tersebut sampai suhu yang ditentukan, *holding* pada suhu tersebut selama periode waktu tertentu dan dilanjutkan pendinginan dengan kecepatan pendinginan tertentu.

Berbagai macam variasi cairan media digunakan dalam *quenching* pada baja. Harus mempertimbangkan proses pendinginan dari pencelupan didalam suatu cairan pendingin suatu benda kerja yang dapat dipanaskan sampai suhu tinggi.

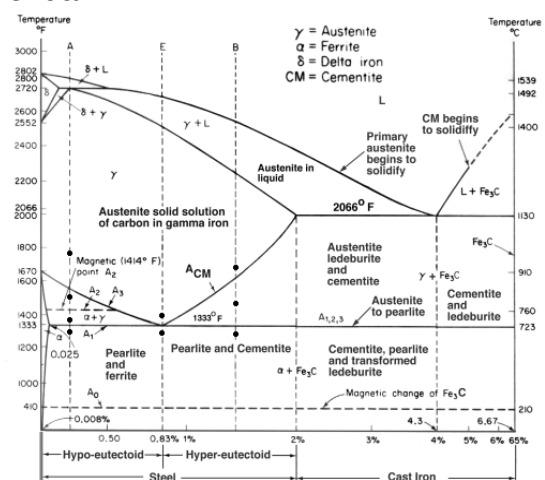
Ketika benda kerja dicelupkan didalam cairan pendingin, lapisan cairan secara cepat mengelilingi benda kerja dan memanaskan sampai suhu penguapan. Benda kerja akan diselubungi didalam lapisan uap yang akan melindungi cairan pendingin pada permukaan benda kerja. Lapisan permukaan dari benda kerja akan didinginkan sangat cepat sebelum pembentukan pelindung uap.

Pembentukan Martensit Selama pendinginan, terjadi reaksi *eutectoid* Fe-C yang menyangkut pembentukan ferit α dan karbida C, sebagai dekomposisi austenit γ berkomposisi *eutectoid*, γ ($\sim 0.8\%C$) $\rightarrow \alpha + C$. Bila austenit didinginkan dengan sangat cepat (*quenching*) maka pembentukan $\alpha + C$ dilewati.

Jalan lain membentuk ($\alpha +$ karbida) menyangkut pembentukan fasa transisi martensit, M. Fasa polimorfi besi (perubahan fasa tanpa mengalami perubahan komposisi) ini tidak stabil karena bila ada kesempatan martensit akan berubah menjadi ($\alpha +$ karbida). Oleh karena itu pada diagram Fe-Fe₃C tidak terdapat martensit. Meskipun begitu martensit adalah suatu fasa yang sangat penting.

Martensit terjadi pada suhu dibawah suhu eutectoid karena struktur (kps) tidak stabil sehingga berubah menjadi struktur kpr secara serentak. Pada reaksi ini tidak terjadi difusi akan tetapi suatu pergeseran. Semua atom bergeser serentak tanpa ada atom yang bergerak melebihi fraksi monometer. Karena berlangsung tanpa difusi, perubahan ini sangat cepat.

secara mendadak dengan mencelupkan kedalam air, oli atau media pendingin lainnya. Dengan pendinginan mendadak tak ada waktu yang cukup bagi austenit untuk berubah menjadi perlit dan ferit atau perlit dan sementit. Pendinginan yang cepat menyebabkan austenit berubah menjadi martensit Hasilnya : Kekerasan yang tinggi, kekenyalan rendah.



Gambar 5. Diagram TTT atau Fe-c (Prentice-Hall, 1988)

Pelaksanaan *heat treatment* terhadap baja melibatkan penggunaan bermacam-macam kecepatan pendinginan. Meskipun pengaruh waktu tidak terlihat secara jelas didalam diagram Fe – C. Dengan demikian studi tentang fenomena transformasi menjadi penting pada fase transformasi untuk bermacam-macam baja dicatat dengan hubungannya terhadap perubahan waktu dan suhu. Hal ini disajikan dengan diagram transformasi isothermal untuk suatu baja. Diagram ini disebut curve TTT (Time – Temperature – Transformasi) atau kadang-kadang juga disebut curva S sesuai dengan bentuk garisnya.

Tipe diagram ini menunjukkan pembentukan struktur jika suatu baja didinginkan dari suhu austenit ke suhu yang diinginkan dan untuk selang waktu tertentu (dibaca pada absis). Curva-curve juga menunjukkan suhu relatif, waktu yang dibutuhkan untuk awal dan akhir transformasi dari austenit. Diagram ini juga menunjukkan temperature dimana martensit terbentuk (Septian R. 2012)

Menurut jenis cetakan yang digunakan proses pengecoran dapat diklasifikan

menjadi dua katagori :

1. Pengecoran dengan cetakan sekali pakai.
2. Pengecoran dengan cetakan permanen.

Pada proses pengecoran dengan cetakan sekali pakai, untuk mengeluarkan produk corannya cetakan harus dihancurkan. Jadi selalu dibutuhkan cetakan yang baru untuk setiap pengecoran baru, sehingga laju proses pengecoran akan memakan waktu yang relatif lama. Tetapi untuk beberapa bentuk geometri benda cor tersebut, cetakan pasir dapat menghasilkan coran dengan laju 400 suku cadang perjam atau lebih. Pada proses cetakan permanen, cetakan

biasanya di buat dari bahan logam, sehingga dapat digunakan berulang-ulang. Dengan demikian laju proses pengecoran lebih cepat dibanding dengan menggunakan cetakan sekali pakai, tetapi logam coran yang digunakan harus mempunyai titik lebur yang lebih rendah dari pada titik lebur logam cetakan.

Cetakan Pasir : cetakan pasir merupakan cetakan yang paling banyak digunakan, karena memiliki keunggulan : Dapat mencetak logam dengan titik lebur yang tinggi, seperti baja, nikel dan titanium, dapat mencetak benda cor dari ukuran kecil sampai dengan ukuran besar, jumlah produksi dari satu sampai jutaan.

Tahapan pengecoran logam dengan cetakan pasir, tahapan pengecoran logam dengan menggunakan cetakan pasir sebagai berikut :

1. Pembuatan pola, sesuai dengan bentuk coran yang akan dibuat
2. Persiapan pasir cetak.
3. Pembuatan cetakan.
4. Pembuatan inti (bila diperlukan)
5. Peleburan logam
6. Penuangan logam cair kedalam cetakan
7. Pendinginan dan pembekuan
8. Pembongkaran cetakan pasir
9. Pembersihan dan pemeriksaan hasil coran
10. Produk cor selesai.

Catatan : Kadang-kadang diperlukan perlakuan panas terhadap produk coran. untuk memperbaiki sifat-sifat metalurginya. Tahapan pembuatan cetakan pasir :

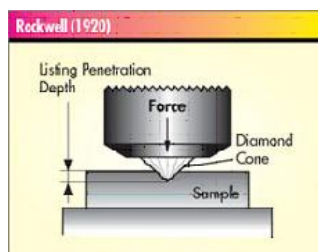
1. Pemadatan pasir cetak di atas pola
2. Pelepasan pola dari pasir cetak _ rongga cetak
3. Pembuatan saluran masuk dan riser
4. Pelapisan rongga cetak

5. Bila coran memiliki permukaan dalam (misal : lubang), maka dipasang inti
6. Penyatuan cetakan
7. Siap untuk digunakan



Gambar 6. Pembuatan cetakan pasir
(*Fundamentals of Modern Manufacturing*-Mikell P. Groover 2010)

Kekerasan(*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan)



Gambar 7. Pengujian Rockwell (Fauzan. 2010)

Pengujian kekerasan dengan metode Rockwell bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material

terhadap indenter berupa bola baja ataupun kerucut intan yang ditekankan pada permukaan material uji tersebut.

Dibawah ini merupakan rumus yang digunakan untuk mencari besarnya kekerasan dengan metode Rockwell.

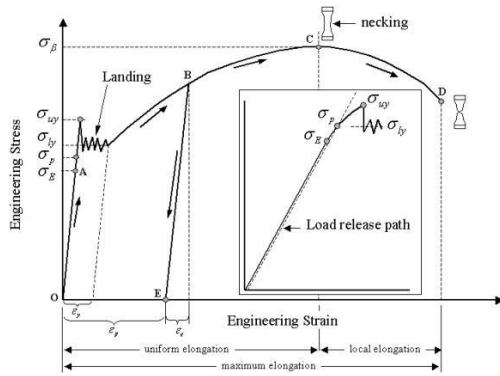
$$HR = E - e$$

Dimana :

- F = Total beban (kgf)
- e = Jarak antara kondisi 1 dan kondisi 3 yang dibagi dengan 0.002 mm
- E = Jarak antara indenter saat diberi minor load dan zero reference line yang untuk tiap jenis indenter berbeda-beda yang bias dilihat pada tabel 2.1
- HR = Besarnya nilai kekerasan dengan metode hardness (Fauzan. 2010)

Uji Tarik merupakan salah satu pengujian untuk mengetahui sifat-sifat suatu bahan. Dengan menarik suatu bahan kita akan segera mengetahui bagaimana bahan tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

Banyak hal yang dapat kita pelajari dari hasil uji tarik. Bila kita terus menarik suatu bahan (dalam hal ini suatu logam) sampai putus, kita akan mendapatkan profil tarikan yang lengkap yang berupa kurva seperti digambarkan pada Gambar 2.10. Kurva ini menunjukkan hubungan antara gaya tarikan dengan perubahan panjang. Profil ini sangat diperlukan dalam desain yang memakai bahan tersebut



Gambar 8. Diagram uji Tarik (Sastranegara A. 2009)

Stress adalah beban dibagi luas penampang bahan dan *strain* adalah pertambahan panjang dibagi panjang awal bahan.

Stress: $\sigma = F/A$ (N/m^2) F : gaya tarikan, A : luas penampang

Strain: $\epsilon = \Delta L/L$ ΔL :pertambahan panjang, L : panjang awal

Hubungan antara stress dan strain dirumuskan:

$$E = \sigma / \epsilon$$

di mana perbandingan tegangan (σ) dan regangan (ϵ) selalu tetap. E diberi nama “Modulus Elastisitas” atau “Young Modulus”. Kurva yang menyatakan hubungan antara *strain* dan *stress* seperti ini kerap disingkat kurva SS (*SS curve*).

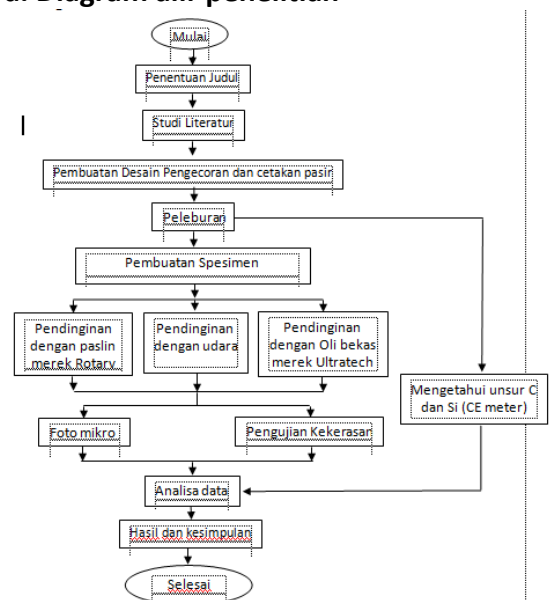
Penjelasan pada gambar 2.10 :

- **Batas elastis** σ_E (*elastic limit*)
- **Batas proporsional** σ_p (*proportional limit*)
- **Deformasi plastis** (*plastic deformation*)
- **Tegangan luluh atas** σ_{uy} (*upper yield stress*)
- **Tegangan luluh bawah** σ_{ly} (*lower yield stress*)
- **Regangan luluh** ϵ_y (*yield strain*)
- Regangan permanen saat bahan akan memasuki fase deformasi plastis.
- **Regangan elastis** ϵ_e (*elastic strain*)
- **Regangan plastis** ϵ_p (*plastic strain*)

- **Regangan total** (*total strain*)
Merupakan gabungan regangan plastis dan regangan elastis, $\epsilon_T = \epsilon_e + \epsilon_p$. Perhatikan beban dengan arah OABE. Pada titik B, regangan yang ada adalah regangan total. Ketika beban dilepaskan, posisi regangan ada pada titik E dan besar regangan yang tinggal (OE) adalah regangan plastis.
- **Tegangan tarik maksimum TTM** (*UTS, ultimate tensile strength*)
Pada gambar 2.10 ditunjukkan dengan titik C (σ_B), merupakan besar tegangan maksimum yang didapatkan dalam uji tarik.
- **Kekuatan patah** (*breaking strength*)
Pada gambar 2.10. ditunjukkan dengan titik D, merupakan besar tegangan di mana bahan yang diuji putus atau patah.
(Sastranegara A. 2009)

METODOLOGI PENELITIAN

a. Diagram alir penelitian



Gambar 9. Diagram alir penelitian

Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut :

a. Studi pustaka

Studi pustaka dilakukan dengan cara mencari informasi dari penelitian-penelitian baik berupa buku, jurnal, sumber internet dan sumber lainnya yang mendukung dalam perancangan sistem sesuai dengan landasan teori.

b. Perencanaan

Dalam tahapan ini berisi tentang sistem dan desain cetakan yang akan dibuat yaitu :

1. Observasi tentang cetakan pasir dan membuat desainya.



Gambar 10. Pola dari kayu



Gambar 11. Cetakan Pasir

2. Persiapan bahan dasar untuk pengecoran besi cor kelabu.

3. Mempersiapkan semua kebutuhan untuk variasi pendinginanya.

c. Peleburan menggunakan tungku kupola yang dilakukan di CV. Reka Cipta Tehnindo Perkasa



Gambar 12. Peleburan Material

d. Pengecoran dan pembuatan spesimen yang akan dilakukan uji sifat fisis dan sifat mekanis dengan menggunakan cetakan pasir.

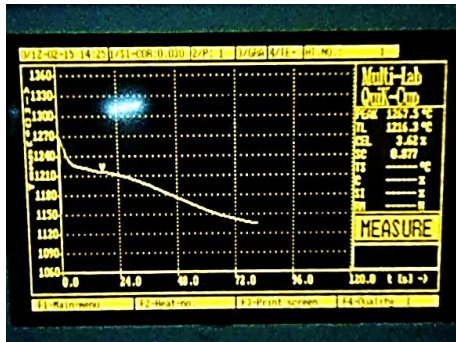


Gambar 13. Penuangan

Uji komposisi kimia dilakukan sebelum besi cair dituang ke dalam cetakan dengan terlebih dahulu dituang didalam cup yang akan dapat dibaca komposisi dan temperaturnya oleh alat CE meter pada cup (CE meter)



Gambar 14. Penuangan



Gambar 15. CE meter

e. Pendinginan dengan variasi 3 media yaitu *grease*, oli, udara. Prosesnya adalah setelah besi cair dituang dicetakan dan didiamkan beberapa waktu setelah dirasa sudah mengeras lalu cetakan dibongkar dan spesimen atau hasil cetakan dimasukkan ke dalam 3 media pendinginan tersebut.

f. Pengujian spesimen di laboratorium Politeknik Manufaktur (POLMAN) Ceper Klaten dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Pengambilan data yaitu proses dimana saat melakukan pengujian spesimen sampai akhir pengujian, yang meliputi berbagai proses pengambilan data



Gambar 15. Pengujian Kekerasan Fiture-Tech-Corp LC-200 RB



Gambar 16. Mikroskop metalografi Nikon X1005 TTEPL

g. Analisis data dari pengujian kekerasan dan struktur mikro dilakukan setelah hasil dari pengujian yang dilakukan di POLMAN dan Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta telah selesai.

h. Kesimpulan yaitu melakukan kesimpulan dari hasil analisis data.

i. Selesai

Alat yang digunakan

1. Penggaris
2. Gergaji kayu
3. Amplas
4. Tungku kupola
5. Sekop
6. CE meter
7. Mesin milling
8. Mesin uji metalografi
9. Mesin uji kekerasan
10. Kain dan autosol

Pengecoran spesimen penelitian dilakukan pengecoran CV. Reka cipta Tehnindo Perkasa Bahan yang digunakan:

- a. Besi hasil daur ulang
- b. karbon
- c. mangan
- d. pasir besi
- e. paslin
- f. oli bekas
- g. Autosol untuk memoles spesimen

Teknik Pengambilan Data

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah

1. Studi literatur, yaitu mempelajari berbagai referensi dari berbagai buku, jurnal penelitian maupun internet sebagai teori penunjang dalam pembahasan
2. Studi eksperimen, yaitu dengan melakukan pengujian kekerasan dan struktur mikro terhadap variasi pendinginan dengan media oli, udara, air.

Pembahasan uji kekerasan

Data yang digunakan untuk menghitung kekerasan yang diambil dari laboratorium POLMAN

Pada uji kekerasan yang dilakukan di POLMAN Politeknik Manufaktur Ceper menggunakan mesin uji kekerasan Future-Tech-Corp LC-200 RB yang sudah menggunakan digital screen, pengujian dilakukan dengan mengambil sampel uji pada 5 titik yang berbeda pengujian yang dilakukan menggunakan metode Rockwell akan tetapi hasil yang diinginkan adalah menggunakan metode Brinell maka dari itu harus dilakukan konversi terlebih dahulu, konversi dilakukan dengan menggunakan tabel yang diambil dari laboratorium POLMAN,



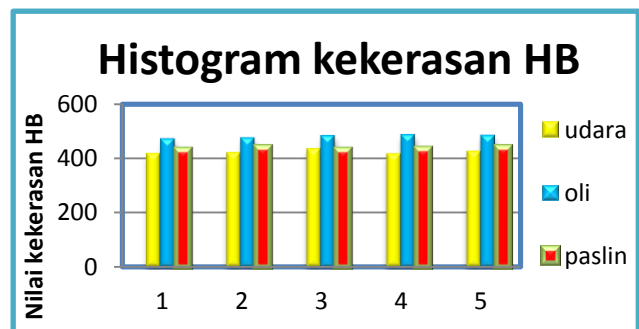
Gambar 17. Spesimen uji kekerasan

Hasil dari uji kekerasan mendapatkan nilai rata-rata untuk pengujian dengan variasi udara 418,56 HB, Oli 477,12 HB, paslin 432,64 sehingga material yang paling keras adalah spesimen

yang dilakukan metode kuens atau pendinginan cepat dengan menggunakan oli, paslin, udara. Dengan penjelasan bahwa saat material coran dilakukan pendinginan menggunakan media cairan maka hasilnya akan lebih keras dari pada hanya menggunakan udara dan dapat dilihat pada tabel dan diagram dibawah ini

Tabel 1. hasil uji kekerasan

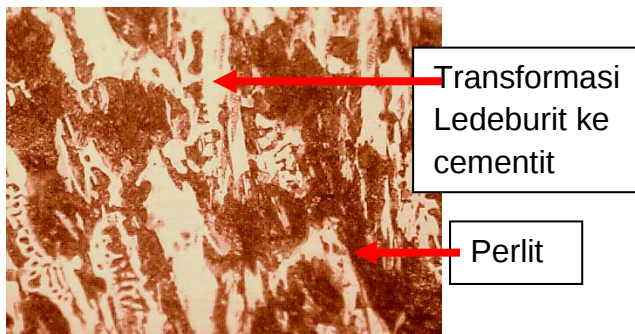
Variasi	nilai kekerasan (HB)				
udara	412,8	416,1	430,7	411,8	421,4
oli	468,2	472,4	480,5	483,5	481,3
paslin	428,6	438,2	427,7	431,4	437,3



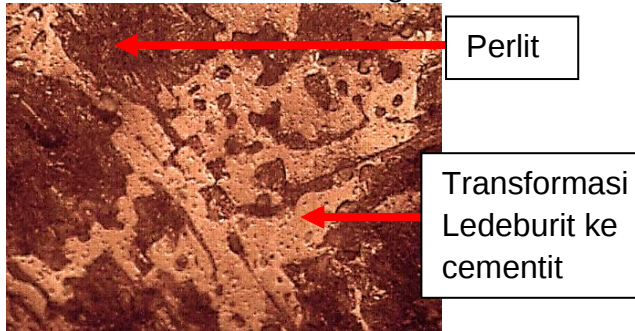
Gambar 18. Diagram hasil uji kekerasan

Pembahasan Metalografi

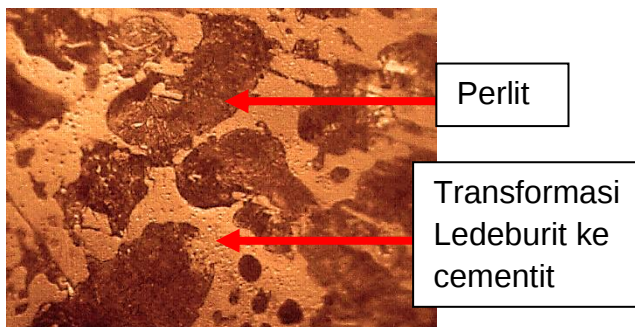
Pada pembahasan metalografi yang dibahas adalah hasil dari foto makro dan mikro spesimen dari tiga variasi pendinginan foto makro diambil dilaboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta sedangkan Foto mikro diambil di POLMAN Ceper Klaten adapun hasil dari foto mikro adalah sebagai berikut :



Gambar 19. Variasi Pendinginan Oli



Gambar 20. Variasi Pendinginan udara



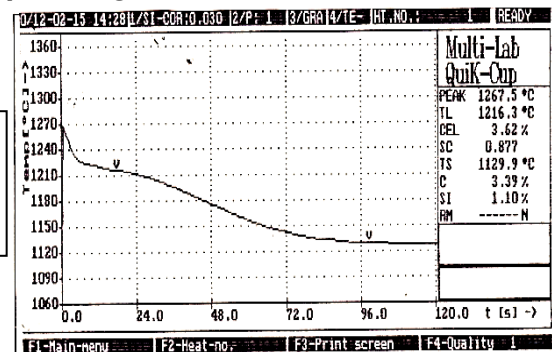
Gambar 21. Variasi Pendinginan Paslin

Foto metalografi atau struktur mikro dengan menggunakan mikroskop Nikon X1005 TTEPL dengan pembesaran 50, 100, 200, 500 sampai 1000 kali.

Dalam variasi ini dapat diketahui dari analisa struktur mikro bahwa pendinginan cepat dengan tiga variasi yaitu udara, oli, paslin memiliki struktur mikro yang berbeda-beda dan dapat dilihat spesimen mana yang lebih keras dengan melihat hasil foto metalografi tersebut sehingga dapat dijelaskan bahwa material yang paling keras yaitu dengan pendinginan oli dapat dilihat dari struktur cementit dan dapat dilihat dari kerapatan cementit

atau besar kecilnya cementit pada pengujian ini untuk oli cementit maupun ledeburitnya tidak beraturan sedangkan untuk udara sedikit beraturan dan memiliki pola dan untuk paslin sangat beraturan dan berpola dikarenakan pendinginannya terjadi secara konstan.

Pembahasan uji komposisi dan pendinginan



Gambar 21. Printout CE meter

Penurunan temperatur saat proses pengecoran dapat diketahui dengan menggunakan alat CE meter, alat tersebut dipinjam dari laboratorium POLMAN ceper, dan hasil dari CE meter adalah mengetahui awal mula suhu coran pada waktu dituangkan yaitu 1267,5 °C dengan penuangan di cup pada alat tersebut selanjutnya dapat dilihat pada diagram diatas bahwa temperatur coran masih berbentuk *liquid* atau cair mencapai suhu 1216,3 °C dan akan mulai memadat pada temperatur 1129,9 °C sampai coran benar – benar berubah suhu saat proses *quenching* pada suhu kamar 20- 25°C

Komposisi yang dapat dihitung dari alat CE meter adalah carbon dan silika saja dengan hasil bahwa kandungan carbon 3,39% dan silikon 1,10% sedangkan unsur – unsur yang lain tidak dapat diukur dari alat tersebut

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisa serta data yang diperoleh dapat disimpulkan.

1. Dalam variasi ini dapat diketahui dari analisa struktur mikro bahwa pendinginan cepat dengan tiga variasi yaitu udara, oli, paslin memiliki struktur mikro yang berbeda-beda dan dapat dilihat spesimen mana yang lebih keras dengan melihat hasil foto metalografi tersebut sehingga dapat dijelaskan bahwa material yang paling keras yaitu dengan pendinginan oli selanjutnya adalah udara dan yang terakhir paslin karena dapat dilihat dari struktur cementit dan dapat dilihat dari kerapatan cementit atau besar kecilnya cementit pada pengujian ini untuk oli cementit maupun ledeburitnya tidak beraturan sedangkan untuk udara sedikit beraturan dan memiliki pola dan untuk paslin sangat beraturan dan berpola dikarenakan pendinginannya terjadi secara konstan.
2. Hasil dari uji kekerasan mendapatkan nilai rata –rata untuk pengujian dengan variasi udara 418,56 HB, Oli 477,199 HB, paslin 432,64 sehingga material yang palin keras adalah spesimen yang dilakukan metode *Quenching* atau pendinginan cepat dengan menggunakan oli, paslin, udara. Dengan penjelasan bahwa saat material coran dilakukan pendinginan menggunakan media cairan maka hasilnya akan lebih keras dari pada hanya menggunakan udara
3. Komposisi yang dapat dihitung dari alat CE meter adalah carbon dan silicon saja dengan hasil bahwa kandungan carbon 3,39% dan silicon 1,10% sedangkan

unsur – unsur yang lain tidak dapat diukur dari alat tersebut.

4. Penurunan temperatur hasil dari CE meter adalah mengetahui awal mula suhu coran pada waktu dituangkan yaitu 1267,5 °C saat dituangkan di cup pada alat tersebut, selanjutnya dapat dilihat bahwa temperatur coran masih berbentuk liquid atau cair mencapai suhu 1216,3 °C dan akan mulai memadat pada temperatur 1129,9 °C sampai coran benar – benar berubah suhu saat proses *quenching* pada suhu kamar 20- 25°C

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka dapat dikemukakan saran sebagai berikut :

1. Untuk penelitian ke depannya supaya didapatkan suatu hasil data yang lebih akurat maka faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah: Ketelitian proses pembuatan spesimen, pemeriksaan adanya cacat pada spesimen, penggunaan alat uji mekanis yang sesuai dengan karakteristik material serta meminimalisir adanya kesalahan manusia (*human error*).
2. Karena besarnya biaya yang dikeluarkan dalam pengujian maka hendaknya dosen/mahasiswa mempertimbangkan banyaknya spesimen yang akan digunakan dan jenis pengujian yang sesuai.
3. Bagi yang tertarik dalam bidang material besi cor khususnya perlu diperhatikan jurnal – jurnal dan penelitian sebelumnya agar didapatkan penelitian yang lebih bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

Ali M, Abdullah M A, Mawardi I, 2012. *Pengaruh Media Pendingin Terhadap Beban Impak Material Aluminium Coran*, Politeknik Negeri Lhokseumawe Banda Aceh

C.A. Cooper , R.J. Young, R. Elliott, 1992, "*Natural Metal Matrix Composite*", UK

Daryanto, 2010, "*proses pengolahan besi dan baja (ilmu metalurgi)*", Sarana Tutorial Nurani, Bandung.

Fauzan (2010) "*Pengujian Keras (Brinell, Vickers, Rockwell, Shore / Ekuotip)*". Diakses 12 juni 2014.
<http://kalogueloe.blogspot.co.id/2013/03/pengujian-keras-brinell-vickers.html>

Jan-Jezreel F. Saceda, Rizalinda L. de Leon, 2010, "*Properties Of Silica From Rice Husk And Rice Husk Ash And Their Utilization For Zeolitey Synthesis*", Philippines

R. Mohamed, T. Mitsuharu, N. Hiroyuki, 2005, "*Effect of semi-solid processing on solidification microstructure and mechanical properties of gray cast iron*", Japan

Widodo R (2010). "*Perhitungan sistem saluran*". Diakses 23 Mei 2014.
<http://hapli.wordpress.com/foundry/teknik-perancangan-pengecoran/perhitungan-sistem-saluran/>,