

Desain *Gating System* dan Parameter Proses Pengecoran untuk Mengatasi Cacat Rongga Poros Engkol

Kadarisman Syah¹, Djoko W. Karmiadi², Dwi Rahmalina²

¹Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Sukabumi,
Jl. Babakan Sirna No. 25 Kota Sukabumi, Indonesia

²Pascasarjana Program Studi Teknik Mesin, Universitas Pancasila
Jl. Borobudur No. 7 Jakarta Pusat, Indonesia
kadarisman7@gmail.com

Abstrak

Teknologi pengecoran logam merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam sektor industri pengolahan logam. Pada proses pengecoran poros engkol menggunakan besi cor nodular (FCD 700) juga terkadang timbul cacat pengecoran, salah satunya adalah cacat penyusutan (*macro shrinkage*). Cacat penyusutan terjadi karena rongga atau lubang yang terbentuk akibat pengecilan volume ketika logam mengalami pembekuan. Pada saat proses pembekuan logam, tiap bagian coran yang berbeda bentuknya atau dimensinya memiliki kecepatan pembekuan yang berlainan. Pada umumnya, cacat penyusutan terjadi pada bagian yang paling tebal dengan laju pembekuan yang paling lambat dan daerah cacat biasanya dikelilingi oleh kiral-kristal *dendrite* yang terjadi pada saat pembekuan logam. Salah satu solusi untuk mendapatkan produk poros engkol yang bebas dari cacat penyusutan adalah dengan melakukan optimasi desain *gating system*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain yang dibuat masih menghasilkan cacat berupa rongga penyusutan. Hal ini terjadi karena belum optimalnya desain sistem saluran yang telah digunakan.

Kata kunci: *macro shrinkage*, desain *gating system*, simulasi komputer

Abstract

Metal casting technology is one of the methods often used in the foundry sector. In the crankshaft casting process using nodular cast iron (FCD 700) also found defects, one of these is the weakness of shrinkage (macro shrinkage). Macro shrinkage occurs when the holes formed due to the decreasing volume during the metal is freezing. At the time of the metal freezing process, each part of the cast of different shapes or dimensions has a different freezing rate. Generally, the depreciation deficiency in the thickest part with the slowest freezing rate and the area normally exposed to the cortex-dendrite crystals that at the time of metal freezing. One of the solutions to obtain the crankshaft product that avoided from shrinkage is by using optimization of gating system design. The research result shows that the design still produce the weaknesses. It is due to the design that have been used doesn't optimized properly.

Keywords: *macro shrinkage*, *gating system design*, *computer simulation*

I. PENDAHULUAN

Teknologi pengecoran adalah salah satu teknik pengerjaan logam yang dapat menghasilkan benda-benda cor yang memiliki tingkat kompleksitas yang tinggi. Karakteristik logam dasar sebagai bahan baku pengecoran, menentukan kualitas dari coran yang dihasilkan. Hal ini disebabkan setiap jenis logam memiliki sifat fisik dan mekanik tertentu yang mempengaruhi produk coran. Salah satu jenis

logam dasar yang digunakan pada proses pengecoran adalah *Ferro Carbon Ductile* (FCD-700). Karakteristik dari besi cor nodular ini memiliki kekuatan tarik dan keuletan yang tinggi dibandingkan dengan besi cor kelabu. Hal ini disebabkan besi cor nodular memiliki grafit yang berbentuk bulat, sehingga konsentrasi tegangan akibat adanya tegangan tarik relatif rendah dibandingkan struktur mikro yang berbentuk serpih atau jenis besi tuang kelabu [1]. Sebaliknya, besi

cor nodular memiliki karakteristik sifat pembekuan yang berbeda dibanding dengan pembekuan logam lain, yaitu adanya ekspansi kedua setelah proses pembekuan yang menimbulkan masalah penyusutan (*shrinkage*) yang berlebihan pada produk besi cor nodular.

Cacat-cacat pengecoran seperti *shrinkage* merupakan rongga atau lubang yang terbentuk akibat pengecilan volume yang terjadi ketika logam mengalami pembekuan karena adanya laju pendinginan. Pada saat proses pembekuan logam, tiap bagian coran yang berbeda bentuknya atau dimensinya memiliki kecepatan pembekuan yang berlainan yang tergantung laju pendinginan dan *gradient temperature*. Pada umumnya, cacat *shrinkage* terjadi pada bagian yang paling tebal dengan laju pembekuan yang paling lambat dan daerah cacat biasanya dikelilingi oleh kristal-kristal *dendrite* yang terjadi pada saat pembekuan logam.

Adanya tuntutan untuk mampu menghasilkan produk cor dengan *lower reject, cost reduction*, dan *higher quality* telah menempatkan masalah cacat coran dan berbagai aspek penyebabnya, menjadi fokus pengendalian proses mulai dari pembelian bahan, *engineering and casting design, pattern making, mold and core making, melting, pouring*, dan *finishing process*.

Adanya cacat pada saat pembuatan poros engkol berupa rongga pada bagian dalam bisa merupakan inisiasi adanya kegagalan proses saat menerima gaya pembebanan sewaktu pemakaian, hal ini perlu dicegah dengan mencari penyebab dan solusi agar cacat bisa dihilangkan.

Hasil pemeriksaan dianalisis untuk mencari penyebab terjadinya cacat penyusutan dan solusinya. Salah satu solusi untuk mendapatkan produk poros engkol yang bebas dari cacat penyusutan dengan melakukan optimasi desain *gating system* sehingga mampu menghasilkan proses solidifikasi yang terkendali melalui analisis perhitungan perancangan. Hasil optimasi desain ini yang akan dicor ulang sebelumnya telah dilakukan proses simulasi computer dengan harapan untuk mengurangi cacat pada saat pengecoran.

Penelitian yang dilakukan dengan menggunakan material besi cor nodular kualitas FCD-700 dengan menganalisis proses produksi dan *gating system* pada saat pengecoran poros engkol, yang diperkirakan merupakan salah satu parameter dominan terjadinya cacat.

Analisis *gating system*/saluran tuang dan *riser* dilakukan karena penentuan dimensi dan *layout system* merupakan parameter yang diprediksi menjadi penyebab terjadinya cacat. Pemeriksaan yang dilakukan meliputi pemeriksaan terhadap saluran turun (*sprue*), saluran pengalir (*runner*),

saluran masuk (*ingate*) saluran penambah (*riser*) serta *layout* dari sistem saluran tuang.

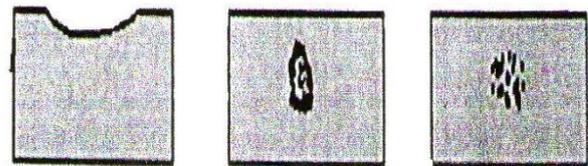
Simulasi komputer dilakukan untuk memberi gambaran kondisi logam cair selama proses pengisian dan pendistribusian temperatur dan laju pembekuan. Simulasi komputer hanya sebagai validasi pembandingan terhadap hasil percobaan pengecoran bukan merupakan kajian utama dalam penelitian yang akan dilakukan [2].

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Shrinkage pada Pengecoran Besi Cor Nodular*

Penyusutan cacat pengecoran terjadi karena pengecilan volume ketika logam mengalami pembekuan akibat adanya laju pendinginan logam cair pada rongga cetak. Bentuk cacat *shrinkage* biasanya dikelilingi oleh kristal-kristal dendrit, yang terjadi pada saat pembekuan logam cair. Saat logam membeku, tiap bagian coran yang mempunyai dimensi yang berbeda bentuknya akan mempunyai kecepatan pembekuan yang berlainan seperti pada dinding cetakan dan pada bagian tengah rongga cetak. Rongga susut mempunyai permukaan yang kasar dan cenderung intergranular. Lapisan luar logam membeku dengan cepat dan terdiri atas kristal sama yang disebut dengan *chill*. Setelah itu, terdapat lapisan yang tumbuh lebih lambat karena laju pendinginan lebih lambat, dengan bentuk dendrit atau pola seperti pohon, dengan arah sumbu memanjang menuju arah pusat coran. Ketika butir dendrit terbentuk, suhu logam cair dipusat turun dan mulailah terbentuk inti. Sebelum dendrit saling bertemu pada pusat coran, terjadi solidifikasi di sekeliling inti tadi dan terbentuklah daerah pusat yang terdiri atas kristal sama sumbu. Akan tetapi, di dekat dasar rongga cetak, laju pendinginan cukup tinggi sehingga dendrit tumbuh dengan cepat dan saling bertemu di pusat dan akan membentuk rongga susut baik dalam skala makro maupun mikro [3]. Jenis cacat penyusutan diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) jenis, dapat ditunjukkan pada Gambar 1.

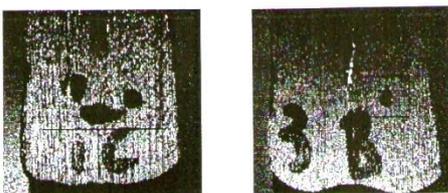
(1) *outer shunk*: cacat ini bisa dilihat dari permukaan luar berupa turunnya permukaan produk cor baik pada permukaan vertikal maupun horizontal. Mekanisme penyusutan terjadi pada



Gambar 1. Klasifikasi cacat penyusutan: *outer shunk* (kiri), *macro shrinkage* (tengah), *micro shrinkage* (kanan)

permukaan luar yang membeku membentuk kulit tipis logam cair. Saat gradien temperature semakin rendah, logam cair belum membeku tapi sudah terjadi penyusutan. Jika pasokan logam cair dari *riser* tidak cukup, maka kontraksi akan menyebabkan tekanan negative dalam rongga cetak. Permukaan bagian luar akan menyamakan tekanan atmosfer bagian dalam sehingga kulit terluar akan tertarik kearah dalam. Efek kontraksi dipasok dengan pengurangan volume benda coran, cacat ini terjadi pada tahap awal pembekuan [3]. Cara mengatasi *outer shunk* sebagai berikut: untuk pengecoran dengan modulus kecil atau rute alir yang panjang harus diterapkan temperature tuang yang tinggi atau dituang dengan sangat cepat untuk menghindari cacat pengecoran. Coran dengan modulus yang besar atau jarak alir yang pendek, temperatur tuang lebih rendah. Untuk memperkecil kontraksi volume pada saat masih cair, maka diset pada temperatur rendah. *Riser* yang dibuat dengan tujuan untuk mengatasi *outer shunk*, dapat dibuat lebih kecil dibanding *riser* untuk mengatasi *makro shrinkage* yang terjadi pada tahap pembekuan berikutnya.

(2) *macro shrinkage*: cacat ini tidak tampak dari luar, kecuali benda cor dipotong melewati pusat panasnya, kadang juga terjadi dekat saluran tuang (*ingate*). Karakteristik cacat *macro shrinkage* terdapat pada bagian dalam benda coran berupa lubang /rongga, permukaannya kasar dan dendritik dengan dimensi lebih dari 5 mm [3]. Mekanisme cacat *macro shrinkage* terjadi setelah pembekuan awal pada permukaan dimana kulit permukaan yang membeku sudah tidak dapat lagi di deformasi oleh perbedaan tekanan ditengah rongga cetak dengan atmosfer. Jika pasokan logam cair dari *riser* tidak mencukupi maka kontraksi akan terjadi pada logam yang cair maupun sudah membeku sehingga terjadi rongga pada bagian yang membeku [3]. Pada Gambar 2 menunjukkan bentuk cacat *macro shrinkage*. Untuk mengatasi terjadinya cacat *macro shrinkage* hampir sama dengan *outer shunk* akan tetapi pasokan logam cair (*feed metal*) dari riser harus lebih lama tersedia dibanding *outer shunk* karena cacat ini terjadi pada pembekuan lebih lanjut dibanding *outer shunk*, dengan menempatkan *riser* pada posisi yang tepat [3].



Gambar 2. Identifikasi cacat *macro shrinkage* pada *riser*

(3) *micro shrinkage*: cacat berupa rongga kecil di bawah 3 mm yang terdapat pada bagian dalam benda cor. Cacat *micro shrinkage* terletak dekat dengan *riser* pada benda cor. Cacat ini biasanya tidak terdeteksi kecuali adanya pemotongan pada benda kerja. Mekanisme cacat terjadi pada tahap akhir pembekuan dimana kontraksi terjadi tidak dapat lagi dikompensasi dengan peningkatan volume akibat presifitasi carbon menjadi grafit [3].

B. Perancangan *Gating System*

Dalam proses pengecoran logam diperlukan suatu desain saluran tuang yang baik, hal tersebut sangatlah penting karena dapat mempengaruhi kualitas dari produk coran yang dihasilkan, kemudahan dalam proses *felling*, memiliki faktor ekonomis dan sebagainya. Langkah pertama dalam pembuatan desain sistem saluran tuang adalah penentuan berat tuangan, dilanjutkan dengan menentukan dimensi dari saluran turun, saluran pengalir dan saluran masuk. Secara garis besar urutan dari perhitungan perancangan pengecoran ditunjukkan pada Gambar 3.

C. Penentuan Berat Total Tuangan

Untuk menentukan berat tuangan, dalam perencanaan sistem saluran harus diperhitungkan berat produk cor, berat *riser*, dan perkiraan berat *gating* yang digunakan sebagai asumsi awal berat coran. Berat tuangan dapat dihitung melalui perhitungan dari gambar kerja, dimana sebelumnya dihitung terlebih dahulu volume tuangannya yang kemudian dikalikan dengan berat jenis dari logam cair menggunakan persamaan berikut [4]:

$$W_c = \rho V_p \quad (1)$$

dimana W_c adalah berat benda tuang, ρ adalah berat jenis logam cair, dan V_p adalah volume benda tuang.



Gambar 3. Diagram alir perhitungan perancangan pengecoran

Dalam perancangan sering digunakan faktor pengali untuk menambah *allowence* permesinan 1,1 kali lebih besar dari pada hasil perhitungan untuk produk yang memiliki banyak permukaan *as-cast*, dan sekitar 1,3 kali untuk produk yang memiliki banyak permukaan permesinan. Berat total tuangan (W_t) dari proses pengecoran didapat dari berat benda tuang ditambah berat *riser* ditambah berat *gating*.

D. Penentuan Waktu Tuang

Untuk memperoleh lama waktu tuang logam cair terlebih dahulu harus diketahui berat tuangannya. Setelah itu dapat dihitung ukuran dari setiap bagian dari sistem saluran. Untuk menghitung waktu tuang digunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$T_p = K\sqrt{W_t} \tag{2}$$

dimana W_t adalah berat tuangan total, K adalah konstanta fluiditas yang bernilai: 2,0 sampai 2,5 untuk W_t kurang dari 100 kg dan 1,5 sampai 2,0 untuk W_t lebih dari 100 kg.

E. Penentuan Tinggi Efektif Logam Cair

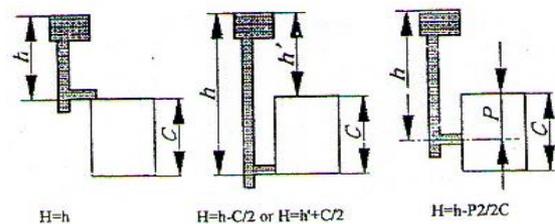
Tinggi efektif logam cair merupakan representasi dari energi yang dikandung logam cair dalam sistem saluran tuang untuk melakukan usaha dalam mengisi rongga cetakan. Perhitungan tinggi

efektif logam cair tidak dapat langsung digunakan suatu persamaan tertentu akan tetapi harus mempertimbangkan posisi dari saluran masuk dan benda tuang. Posisi saluran masuk ada yang ditempatkan diatas benda tuang, dibawah benda tuang, atau sejajar dengan *parting line*. Gambar 4 menunjukkan jenis penentuan tinggi efektif logam cair.

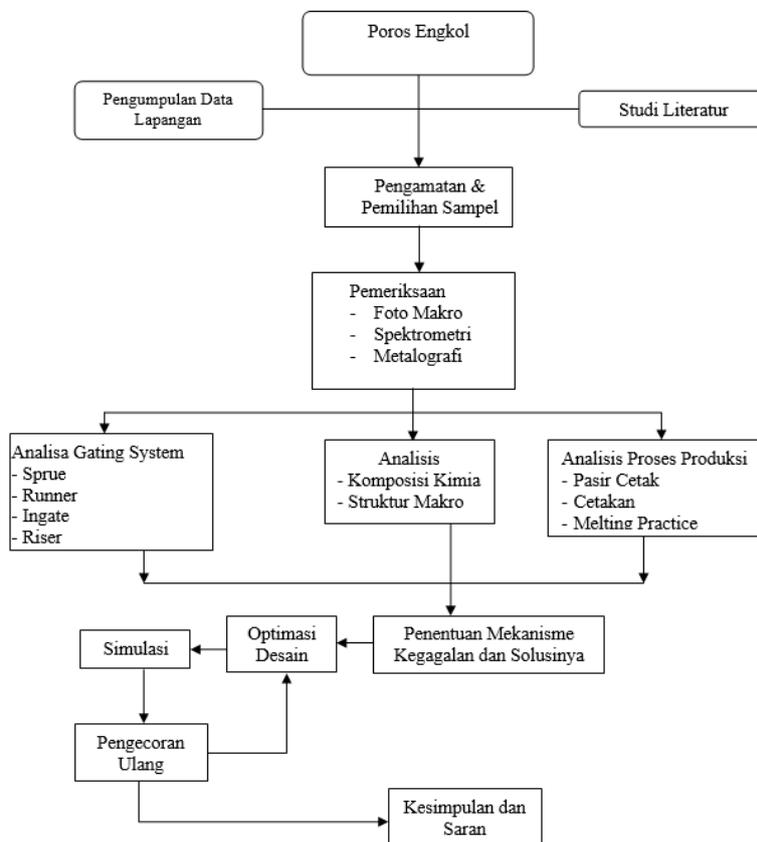
Oleh karena itu digunakan H_e , yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$H_e = h - p^2/2C \tag{3}$$

dimana H_e adalah tinggi efektif logam cair, h adalah jarak dari *sprue* ke permukaan logam didalam pouring basin, p adalah tinggi dari bidang pisah ke permukaan atas coran, dan C adalah tinggi coran.



Gambar 4. Penentuan tinggi efektif logam cair



Gambar 5. Tahapan penelitian

F. Penentuan Laju Aliran Logam Cair pada Saluran Turun

Untuk menentukan nilai laju aliran logam cair melewati saluran turun, dapat digunakan persamaan sebagai berikut [4]:

$$V_l = c\sqrt{2gH_e} \quad (4)$$

dimana V_l adalah laju aliran, c adalah koefisien aliran (0,45), dan g adalah gaya gravitasi (980 cm/dt).

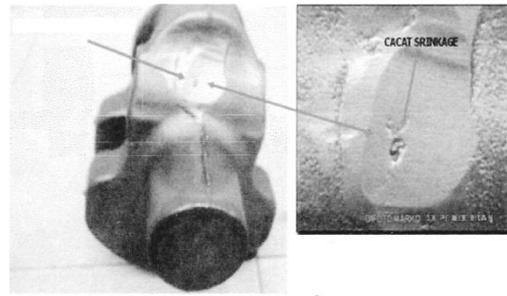
III. METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dibahas mekanisme dan penyebab terjadinya cacat *macro shrinkage* pada proses pengecoran poros engkol yang didasarkan pada data awal pemeriksaan dan parameter-parameter penyebab terjadinya cacat. Analisis terjadinya cacat penyusutan pada produk *gravity casting* ini dapat dilakukan melalui tahapan penelitian yang sesuai dengan diagram alir pada Gambar 5.

A. Pengamatan dan Pemeriksaan

Poros engkol merupakan bagian dari komponen mesin yang utama, berfungsi untuk menggerakkan *piston* agar mesin dapat dihidupkan. Prinsip kerjanya, pada saat dinamo *starter* berputar, diteruskan ke roda penerus, kemudian ke poros engkol, maka poros engkol tersebut berputar. Tenaga putar dari poros engkol dirubah menjadi gerak translasi pada *piston* didalam silinder mesin.

Kegagalan pengecoran poros engkol ini ditandai adanya cacat berbentuk penyusutan yang berlokasi pada daerah ukuran dimensi yang paling besar. Pemeriksaan visual dilakukan dengan cara melihat bentuk permukaan hasil pengecoran, selanjutnya untuk mengetahui ada tidaknya cacat pada bagian dalam dengan cara memotong pada arah melintang dan vertikal pada daerah yang memungkinkan terjadinya cacat *macro shrinkage*. Prediksi daerah/segmen pada poros yang mempunyai ketebalan atau diameter terbesar dengan modul tertinggi dimungkinkan terjadinya *shrinkage*. Dari hasil pemotongan penampang poros dapat diamati adanya cacat berupa rongga dendritik dengan kedalaman lebih dari 5 mm dengan lebar 4 mm dan dklasifikasikan sebagai cacat *macro shrinkage*. Gambar 6 menunjukkan lokasi terjadinya cacat *macro shrinkage*.



Gambar 6. Poros engkol yang mengalami cacat *macro shrinkage*

Poros engkol merupakan komponen yang sangat penting. Untuk itu harus dapat menggerakkan piston hingga mesin hidup. Tuntutan lain harus dapat menggerakkan komponen lainnya seperti dinamo ampere yang berfungsi sebagai pembangkit listrik pada mesin, pompa oli sebagai tenaga aliran untuk pendorong mengalirnya minyak pelumas di dalam mesin, dan *delco* untuk membagi aliran listrik ke setiap busi. Agar busi menyala dan membakar campuran udara di dalam ruang bakar secara teratur sesuai dengan urutan pengapian (*firing order*), sebagai tenaga dari mesin untuk motor bensin, untuk motor diesel tanpa menggunakan busi, melainkan *glow plug* yang alirannya diambil bukan melewati distributor, tapi langsung dari arus dari aki (baterai).

B. Pemeriksaan Proses Produksi

Pada proses pengecoran dalam pembuatan poros engkol ini dilakukan secara *gravity* (tekanan logam cair pada cetakan dihasilkan dengan memanfaatkan gaya tarik bumi). Jenis cetakan yang dipakai adalah cetakan pasir dengan rangka cetak kuat terbuat dari logam. Pasir cetak yang biasa digunakan dalam proses pengecoran mengandung bentonite sekitar 5,5%, kadar air antara 3-6%, sedangkan penggunaan pasir baru dengan pasir bekas diatur untuk efisiensi dengan presentase 40% pasir baru sedangkan pasir bekas 60%.

Pada proses pengecoran dalam pembuatan poros nokini dilakukan secara *gravity* (tekanan logam cair pada cetakan dihasilkan dengan memanfaatkan gaya tarik bumi), jenis cetakan yang dipakai adalah cetakan pasir dengan rangka cetak kuat terbuat dari logam. Hasil pengujian pasir cetak dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan pasir cetak yang mengalami cacat

Jenis pemeriksaan	Cacat pengecoran	Standar JIS
Kadar air	4,5%	4,5%
Permeabilitas	100	> 90
Kekuatan tekan	1,13 kg/cm ²	0,7-1,2 kg/cm ²

Proses *melting* pengecoran poros engkol dilakukan dengan menggunakan Tanur Induksi dengan kapasitas 200 Kg. Bahan yang digunakan *steel scrap*, *return FCD*, FeSi, FeMn dan *carburizer*, sedangkan proses nodularisasi dengan menggunakan proses *Sandwich* atau metode ladle terbuka yang menggunakan unsur nodularisasi Magnesium (Mg) atau cerium (Ce), dimana paduan magnesium dibungkus dengan skrap baja lalu diletakkan kedalam ladle dalam posisi dibagian bawah yang sudah di desain khusus. Logam cair dari tungku dituangkan pada paduan yang terletak di dasar ladle. Temperatur *melting* pada suhu 1500°C dengan temperatur *pouring* pada suhu 1400°C.

C. Pengujian Komposisi Kimia

Metode yang digunakan untuk mengetahui komposisi kimia yang terdapat dalam sampel uji, menggunakan metode *spectrometer*. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kandungan unsur-unsur yang terdapat pada sampel poros engkol. Untuk melihat kesesuaian komposisi antara material hasil cor dengan standar dalam hal ini yang dipakai standar *Japanese International Standard (JIS)*. Proses pembuatan sampel untuk komposisi kimia pada besi cor nodular dalam bentuk *chill* yang dibuat pada proses *melting* dengan ukuran standar cetakan khusus.

D. Pemeriksaan Metalografi

Pemeriksaan ini dilakukan untuk melihat struktur dan fasa-fasa dari suatu material dengan menggunakan mikroskop optik. Sampel yang telah memenuhi syarat untuk dianalisa kemudian dilakukan preparasi dengan langkah-langkah penentuan struktur mikro yang sudah baku. Struktur mikronya difoto dengan pembesaran foto diatas 50 kali untuk memudahkan dalam memperoleh informasi adanya fasa-fasa ferit-ferit dan grafit dalam struktur mikro sampel uji.

E. Pengujian Sifat Mekanik

Pengujian sifat mekanik yang dilakukan adalah uji kekerasan bahan. Pengujian dilakukan pada bagian melintang dari poros untuk segmen tertentu yang menunjukkan adanya cacat yaitu bagian porosnya. Pengujian kekerasan dengan menggunakan leco micro Hardness Tester dengan beban 100 kg yang dapat mengukur kekerasan dalam skala Vickers dan Rockwell, selanjutnya dilakukan konversi untuk mendapatkan data kekerasan brinell.

F. Pemeriksaan Sistem Saluran yang Mengalami Cacat Macro Shrinkage

Sistem saluran (*gating system*) yang digunakan dalam proses pembuatan poros engkol dalam satu cetakan dengan dimensi yang berbeda, hal ini tentu mempunyai keuntungan dan kerugian ditinjau dari kualitas dan aspek pengecoran *gravity sand casting* dengan penggabungan sistem saluran yang sederhana dan rumit. Pengukuran dimensi poros engkol serta dimensi sistem saluran dilakukan dengan mengukur produk dengan jangka sorong, ukuran dari saluran tuang (*sprue*), saluran pengalir (*runner*), saluran masuk (*ingate*) dan ukuran dari saluran penambah (*riser*).

IV. KESIMPULAN

Dari pembahasan dan analisis pada *gating system* dalam mengatasi cacat *macro shrinkage* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- Pada desain system saluran yang telah digunakan ditemukan adanya cacat berupa rongga penyusutan yang disebabkan karena belum optimalnya desain system saluran yang telah digunakan.
- Merubah bentuk pola cetakan lama yang mengalami cacat dengan pola cetakan baru yang lebih fleksibel, dimana desain telah mengalami perubahan dimensi yaitu: (1) panjang saluran pengalir pada pola/rancangan yang lama dirubah dari 80 cm menjadi 45,5 cm sehingga fungsinya menjadi lebih efektif; (2) memperbesar ukuran riser dari diameter 60 mm panjang 90 mm menjadi diameter 90 mm, panjang 110 mm; (3) memperbesar ukuran ingate dari ukuran 4 x 50 mm menjadi 6x102 mm; (4) penambahan dimensi/ ukuran pola dari benda cor 0,7-1,2% untuk menghindari *solid shrinkage*.
- Mengoptimalkan temperatur proses pengecoran dengan cara: (1) meningkatkan temperatur tuang yang terlalu rendah dari 1350°C menjadi 1400°C akan menyebabkan pembekuan dini yang akibatnya terjadinya pembentukan penyusutan, sedangkan temperature yang baru diatas 1400°C hasilnya lebih baik dan tidak terjadi cacat; (2) pemanasan ladle sampai 900°C untuk menghindari *temperature drop* pada saat *temperature pouring*; (3) mengoptimalkan jarak dari ladle terhadap benda coran karena jarak dari tanur induksi dengan benda coran relatif jauh.
- Terjadinya peningkatan presentase C sebesar 3,57% pada sistem saluran baru dari nilai komposisi karbon hasil coran dengan sistem saluran yang mengalami cacat dengan presentase karbon 3,4% lebih rendah dari standar JIS yaitu

diatas 3,5% sehingga mempengaruhi kepada nilai Carbon Equivalen (CE).

- Adanya peningkatan nilai CE sebesar 4,45% dari nilai CE yang lama sebesar 4,0% ini menunjukkan bahwa hasil coran poros engkol berada pada daerah kualitas baik bila dilihat dari grafik nilai CE, sedangkan nilai CE 4,0% berada pada daerah *shrinkage* bila dilihat pada grafik CE.
- Hasil simulasi menggunakan *software* Solidwork menunjukkan tidak terjadinya rongga penyusutan pada material poros engkol.
- Penempatan *riser* pada *modulus* yang paling besar pada benda coran akan meningkatkan pasokan logam cair lebih banyak pada saat terjadi pembekuan dan hasilnya tidak terjadi cacat.

REFERENSI

- [1] W. O. Alexander, *Dasar Metalurgi Untuk Rekayasawan*, PT. Gramedia Utama, 64-66, 1990
- [2] Pratomo S. B., *Analisis Simulasi Komputer Pengecoran untuk Meminimalkan Cacat Coran*, Journal Metal Indonesia Vol. 024, pp. 23-30, 2002
- [3] Basuki E. A., *Teknik Pengecoran*, Option Metallurgi ITB, 2004
- [4] David Sparkman, *Offseting Macro-Shrinkage in Ductile Iron*, Ductile Iron News, Foseco Metallurgical, Inc., 2001

