

Studi Eksperimen Pengaruh Jenis Saluran pada Aluminium Sand Casting terhadap Porositas Produk Toroidal Piston

Rizal Mahendra Pratama dan Soeharto

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: hartoits@me.its.ac.id

Komponen mesin yang menggunakan aluminium sebagai bahan utama produksi semakin banyak digunakan. Hal ini dikarenakan aluminium lebih ringan namun memiliki kekuatan yang relatif tinggi daripada jenis material lain. Proses pengecoran aluminium dengan cetakan pasir harus dilakukan dengan teliti untuk memperoleh produk cor yang berkualitas baik. Namun, beberapa kali dijumpai adanya cacat pada hasil coran, salah satunya adalah porositas. Salah satu cara untuk mencegah porositas adalah dengan penggunaan sistem saluran yang tepat. Oleh karena itu, diperlukan adanya suatu penelitian untuk mencari pengaruh variasi sistem saluran yang tepat pada aluminium sand casting terhadap porositas hasil coran.

Dalam penelitian ini dilakukan proses pengecoran pasir untuk membuat toroidal piston. Pola berbentuk toroidal piston, sistem saluran, rangka cetak dan rangka inti terbuat dari kayu dilakukan pada langkah pertama. Langkah kedua menyiapkan pasir cetak dengan komposisi pasir silika (bekas daur ulang 50% + pasir baru 50%), bentonit 7.5% (aktif), dan air 3.5%. Langkah ketiga adalah perakitan cetakan dengan menyusun pola dan sistem saluran ke dalam rangka cetak yang ditimbun dengan pasir cetak hingga dihasilkan rongga cetak. Sistem saluran yang digunakan akan divariasikan menjadi Top Gating System, Parting Line Gating System, dan Bottom Gating System. Setelah cetakan selesai dibuat, langkah keempat adalah proses pengeringan cetakan selama dua minggu. Langkah kelima adalah proses peleburan logam, penuangan logam, kemudian proses pembekuan dilakukan pada temperatur ruangan selama 24 jam, dilanjutkan pembongkaran cetakan. Langkah keenam adalah proses inspeksi terhadap porositas secara kualitatif dan kuantitatif. Pengukuran porositas kuantitatif dengan cara menghitung perbandingan volume porositas terhadap volume total spesimen, dan pengukuran porositas kualitatif dengan mengambil foto porositas di bagian surface dan sub-surface.

Dari penelitian ini didapatkan bahwa hasil coran parting line gating system memiliki harga porositas paling rendah bila dibandingkan hasil coran jenis sistem saluran yang lain. Akan tetapi, hasil coran parting line gating system memiliki penyusutan yang paling besar dari pada hasil coran jenis saluran yang lain.

Kata kunci : gating system, toroidal piston, sand casting, aluminium alloy 6061, porositas.

I. PENDAHULUAN

Perkembangan dunia otomotif beberapa waktu terakhir mengalami peningkatan yang cukup pesat. Bukan hanya dari sisi teknologi yang berkembang, tapi juga dari jumlah produksi yang besar. Hal ini mengakibatkan jumlah

konsumsi bahan bakar fosil juga meningkat pesat. Data pada tahun 2010 menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar sektor transportasi mengalami peningkatan yang berarti, yaitu mencapai 48% dari total konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM) secara nasional, dimana dari angka tersebut 88% dikonsumsi oleh transportasi angkutan jalan. Seiring dengan menipisnya cadangan bahan bakar yang berasal dari fosil, serta untuk mempertahankan prinsip pembangunan yang berkelanjutan diperlukan upaya penggunaan energi alternatif dari sumber yang terbarukan.

Untuk mewujudkan hal tersebut telah dilakukan beberapa penelitian untuk menciptakan suatu sumber energi alternatif baru yang salah satunya berupa penggunaan biodiesel. Namun, secara spesifik pemakaian langsung biodiesel pada mesin diesel memberikan dampak pada konsumsi bahan bakar spesifik dan emisi NOx yang lebih tinggi dibandingkan dengan fosil diesel pada umumnya. Hal ini disebabkan karena kandungan kalor bakar biodiesel 10% lebih rendah dari fosil diesel dan perilaku pembakaran biodiesel yang unik, yakni berupa mekanisme pembakaran yang cepat pada *phase premixed combustion* dan pembakaran yang lambat pada *phase diffusion combustion*. Berdasarkan hal tersebut, diusulkan suatu pengembangan *prototype* mesin biodiesel berkapasitas kecil (1000cc) dengan desain kepala piston (*crow*n) berbentuk toroidal. Desain *crow*n piston berbentuk toroidal ditujukan untuk memberikan ruang gerak yang cukup bagi semprotan bahan bakar menempuh lintasan berbentuk toroidal dan menuntaskan *phase diffusion combustion*. Selain itu juga dapat mengurangi konsumsi oksigen yang digunakan pada saat pembakaran secara signifikan ketika posisi kepala piston berada didekat dinding silinder. Hal tersebut memberikan implikasi berupa peningkatan pelepasan panas dari bahan bakar selama proses pembakaran sehingga konsumsi bahan bakar spesifik dapat meningkat hingga 35% dan emisi NOx menjadi lebih rendah [1].

Salah satu cara untuk memproduksi kepala piston berbentuk toroidal dapat dilakukan dengan metode pengecoran gravitasi yang menggunakan metode cetakan pasir (*sand casting*). Penggunaan metode *sand casting* karena metode pengecoran ini paling umum dan mudah dilakukan. Selain itu, pengecoran pasir dapat mencetak logam dengan titik lebur tinggi, dimensi benda hasil coran yang kecil hingga besar, dan juga mampu untuk produksi masal [2]. Pada proses

pegecoran, segala macam bentuk cacat sangatlah dihindari karena akan mengurangi kualitas benda coran dan menurunkan efektivitas dari proses produksi. Salah satu cacat yang umum terjadi pada benda hasil pengecoran adalah porositas (*porosity*). Porositas adalah terperangkapnya gas dalam logam cair pada waktu pengecoran sehingga pada benda hasil cor terdapat lubang-lubang baik pada permukaan maupun pada bagian dalam benda cor. Porositas pada aluminium kebanyakan disebabkan oleh kombinasi dari presipitasi hidrogen dari *liquid solution* atau karena penyusutan (*shrinkage*) selama proses solidifikasi [3]. Salah satu cara paling efektif untuk mencegah dan meminimalisir cacat-cacat tersebut adalah dengan perancangan sistem saluran yang tepat. Sistem saluran (*gating system*) merupakan suatu mekanisme pada cetakan untuk mengalirkan logam cair dari cawan tuang (*pouring basin*) hingga ke rongga cetak. Sistem saluran yang tepat dapat menyebabkan logam cair mampu untuk mengisi seluruh rongga cetak, membuat gesekan aliran kecil sehingga waktu pematatan lebih cepat, dan juga aliran cairan cor yang tenang (*laminar*) sehingga proses pematatan berlangsung dengan baik [4]. Perancangan sistem saluran perlu memperhatikan beberapa faktor seperti bentuk dan dimensi benda yang akan dicor, jenis material yang digunakan, proses solidifikasi, dan proses perpindahan panas yang terjadi selama proses pengecoran berlangsung. Dengan memperhatikan hal-hal tersebut diatas, maka akan didapatkan perancangan sistem saluran yang efektif dan efisien.

II. METODE PENELITIAN

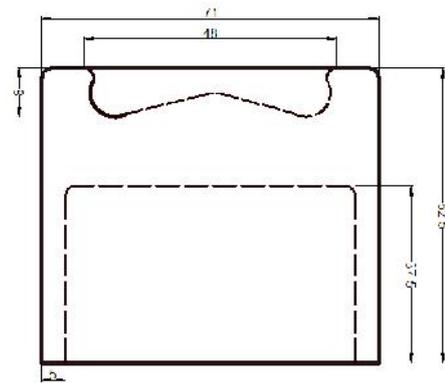
Metodologi dari penelitian ini dari awal sampai akhir meliputi beberapa tahapan, yaitu:

A. Tahap Persiapan

Tahap persiapan merupakan perencanaan proses pengecoran secara keseluruhan. Meliputi perencanaan teknik (perancangan konstruksi benda coran, pemilihan metode pengecoran, perancangan sistem saluran) hingga perencanaan waktu. Serta persiapan alat dan bahan.

B. Pembuatan Pola dan Sistem Saluran

Pola, rangka cetak, cetakan inti dan sistem saluran yang digunakan pada penelitian ini terbuat dari kayu. Pola berbentuk piston toroidal pada mobil 1000cc dengan penambahan ukuran untuk toleransi dan proses *finishing*. Sistem saluran yang digunakan akan divariasikan menjadi *Top*, *Bottom*, dan *Parting Line Gating System*.



Gambar 1. Desain Pola Piston

C. Pengolahan Pasir Cetak

Pasir cetak yang digunakan adalah jenis pasir cetak *green sand* dengan komposisi pasir silika (bekas daur ulang 50% + pasir baru 50%), bentonit 7.5% (aktif), dan air 3.5%.

D. Pembuatan Cetakan

Cetakan yang digunakan sebanyak tiga buah, masing-masing satu untuk setiap variasi sistem saluran. yakni *top gating system*, *parting-line gating system*, dan *bottom gating system*. Waktu pengeringan cetakan dilakukan selama dua minggu.

E. Peleburan

Proses peleburan logam pada proses pengecoran menggunakan tanur dengan sumber bahan bakar LPG. Peleburan logam aluminium dilakukan di dapur yang dipanaskan hingga temperatur ± 700 °C.

F. Penuangan

Penuangan logam ini menggunakan *ladle*. Penuangan logam harus dilakukan secara cepat agar menghindari penurunan temperatur yang terlalu cepat, hal ini bisa mengakibatkan logam cair tidak mengisi pada rongga cetakan secara sempurna karena logam cair terlebih dahulu membeku pada sistem saluran. Rata-rata waktu penuangan logam cair untuk mengisi penuh rongga cetakan kurang lebih selama 12 sekon.

G. Pembekuan

Setelah proses penuangan logam cair pada cetakan, maka cetakan dibiarkan selama 24 jam pada temperatur kamar hingga logam cair mengalami proses pembekuan secara sempurna.

H. Pembongkaran

Setelah logam cair membeku, dilakukan pembongkaran dan pembersihan bekas pasir cetak yang masih melekat pada logam coran secara hati-hati proses pembongkaran dilakukan untuk mendapatkan atau memisahkan benda coran dari cetaknya.

I. Pemotongan Sistem Saluran

Pemotongan sistem saluran dilakukan agar memudahkan melakukan pengukuran, membandingkan, dan menganalisa hasil benda coran.

J. Inspeksi Porositas

Inspeksi cacat porositas juga akan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif. Pengamatan cacat secara kualitatif dilakukan dengan cara melakukan pengamatan fisik di permukaan (*surface*) dan permukaan dalam (*subsurface*). Oleh karena itu perlu dilakukan *grinding* untuk mendapatkan permukaan yang halus. Sedangkan untuk pengamatan cacat porositas secara kuantitatif akan dilakukan dengan metode perbandingan volume. Metode ini dilakukan dengan prinsip kerja membandingkan volume porositas dan volume benda coran. Adapun langkah-langkah yg dilakukan pada metode ini antara lain adalah:

1. Mempersiapkan toroidal piston hasil pengecoran.
2. Menimbang massa spesimen pada timbangan digital yang memiliki ketelitian dua angka dibelakang koma.
3. Mengukur volume spesimen pada gelas ukur berisi air yang telah diketahui volumenya.
4. Melakukan perhitungan untuk mengetahui berapa prosentase porositas yg terjadi pada spesimen tersebut dengan rumus:

$$\%Porositas = \frac{V_p}{V_t} \times 100\% = \frac{V_t - V_m}{V_t} \times 100\% = \frac{V_t - \frac{m}{\rho}}{V_t} \times 100\%$$

Dimana,

V_p = Volume porositas (cm³)

V_m = Volume massa (cm³)

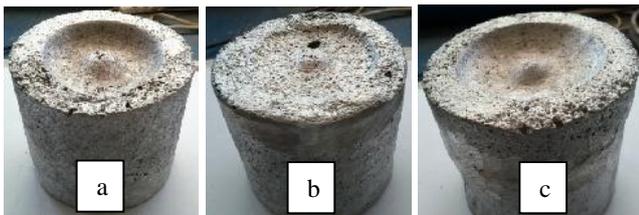
V_t = Volume total (cm³) = $V_p + V_m$

m = massa (gr)

= densitas (gr/cm³)

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Produk Cor



Gambar 2. Produk hasil coran (a) top; (b) bottom; (c) parting line

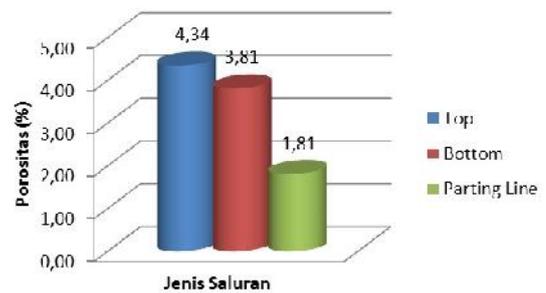
Hasil secara keseluruhan produk coran dengan metode *aluminium sand casting* dengan variasi jenis saluran dapat dikatakan kurang memuaskan. Hal ini karena banyaknya porositas yang terjadi pada produk coran seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.2 dan 5.3. Selain itu terdapat pula penyusutan dan permukaan yang kasar pada hasil coran seperti pada gambar 5.1. Dimensi produk hasil coran tidak sesuai dengan yang direncanakan. Jika ditinjau dari tinggi dan diameter piston yang dihasilkan, dari ketiga hasil coran hampir mendekati dimensi awal, hanya saja letak rongga pada bagian bawah piston agak sedikit berbeda letaknya pada masing-masing hasil coran. Hal ini disebabkan kurang presisi saat memasang inti pada cetakan. Sedangkan jika ditinjau dari bentuk kepala piston (*crown*) seluruh hasil coran mampu

membentuk kepala piston toroidal. Akan tetapi hasil coran pada *bottom gating system* bentuk cekungan yang dihasilkan relatif tidak terlalu dalam seperti pada hasil coran *top* dan *parting line gating system*. Hal ini disebabkan karena pola *crown* terletak pada posisi bawah dan pada *bottom gating system* aliran logam cair tepat masuk melalui bagian bawah sehingga membuat pola *crown* sedikit tererosi. Sedangkan pada *top gating system* bentuk *crown* yang dihasilkan relatif bagus akan tetapi pada daerah tepi terdapat cacat keropos yang lumayan besar dan tidak ada pada produk coran yang lain. Hal ini disebabkan karena efek jatuh bebas aliran logam cair saat memasuki rongga cetak. Selain itu pada bagian *crown* hasil coran *top* dan *parting line gating system* ditemukan adanya retakan (*crack*). Hal ini disebabkan karena proses pendinginan yang relatif cepat dari temperatur tinggi menuju temperatur rendah sehingga menyebabkan retakan itu terjadi.

B. Data Hasil Pengukuran Porositas

Tabel 1.

Jenis Saluran	m (gr)	V_t (cm ³)	Porositas (%)
Top	430,39	166,64	4,34
Bottom	454,42	174,97	3,81
Parting Line	441,78	166,64	1,81



Gambar 3. Diagram batang persentase porositas

Dari diagram diatas tampak bahwa *parting line gating system* memiliki nilai persentase porositas paling rendah bila dibandingkan jenis sistem saluran yang lain.

Tabel 2.

Data Hasil Pengukuran Kualitatif Porositas di bagian *Surface*

No.	Jenis Saluran	Foto Porositas	Keterangan
1	Top		Tampak adanya porositas pada bagian tepi crown dan permukaan samping produk coran. Selain itu, cacat akibat erosi rongga cetak juga tampak terlihat pada gambar bawah

2	Bottom		<p>Bagian crown hasil coran tidak terbentuk sempurna bahkan ada lubang porositas yang cukup besar.</p> <p>Tampak pula beberapa cacat porositas dan penyusutan pada sisi samping produk coran</p>
---	--------	---	--

3	Parting Line		<p>Tampak cacat porositas terserbar pada bagian dalam hasil coran</p>
---	--------------	--	---

(lanjutan)

No.	Jenis Saluran	Foto Porositas	Keterangan
3	Parting Line		<p>Masih terdapat porositas pada bagian crown hasil coran meskipun tidak separah top dan bottom. Tampak pula porositas dan penyusutan muncul pada bagian samping hasil coran</p>

Tabel 3. Data Hasil Pengukuran Kualitatif Porositas di bagian *Sub-surface*

No.	Jenis Saluran	Foto Porositas	Keterangan
1	Top		<p>Tampak cacat porositas terdapat pada bagian bawah hasil coran. Tampak pula penyusutan dengan bentuk cekungan pada sisi samping hasil coran</p>
2	Bottom		<p>Tampak cacat porositas yang cukup besar pada bagian atas dekat permukaan dan beberapa di bagian dalam benda hasil coran</p>

Porositas merupakan cacat berupa lubang berpori pada bagian permukaan (*surface*) dan bagian dalam (*sub-surface*) yang diakibatkan oleh gelembung gas yang terperangkap di dalam logam cair sampai proses solidifikasi selesai. Pada penelitian ini, semua hasil coran memiliki porositas pada bagian *surface* dan *sub-surface* seperti yang terlihat pada tabel 5.2. dan 5.3. Saluran masuk *top gating system* memiliki ketinggian paling tinggi. Hal ini menyebabkan terjadinya efek jatuh bebas logam cair semakin besar sehingga membentuk turbulensi aliran logam cair saat mengisi rongga cetak. Karena adanya aliran turbulen pada logam cair membuat terjebaknya udara dalam rongga cetak. Hal ini diperparah dengan tidak adanya ventilasi pada semua cetakan. Sehingga udara yang terjebak tidak sempat keluar dengan baik melalui sistem saluran ataupun celah pori-pori pasir hingga mengakibatkan porositas pada hasil coran. Selain itu, efek jatuh bebas yang terjadi pada *top gating system* juga membuat rongga cetak mengalami erosi. Hal tersebut mengakibatkan terjadinya inklusi pasir yang cukup parah sehingga menyebabkan keropos pada salah satu bagian permukaan kepala piston (*crown*). Sedangkan pada *bottom gating system*, aliran logam cair yang masuk ke dalam rongga cetak relatif lebih halus dari pada *top gating system*. Tidak ada efek jatuh bebas pada jenis sistem saluran ini. Akan tetapi justru karena logam cair masuk melalui bagian bawah rongga cetak, dimana pada bagian tersebut terdapat pola *crown*, maka erosi bagian bawah tidak dapat dihindarkan. Sehingga merusak bentuk *crown* menjadi tidak sempurna dan cenderung berbentuk rata. Berdasarkan data hasil pengukuran dan perhitungan maka diperoleh hasil bahwa *parting line gating system* memiliki nilai porositas paling rendah karena logam cair masuk melalui bagian tengah rongga cetak sehingga aliran logam cair yang masuk ke rongga cetak relatif lebih tenang (tidak ada efek jatuh bebas) daripada *top gating system*. Selain itu juga bentuk *crown* yang dihasilkan lebih bagus daripada *bottom gating system*.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Setelah dilakukan inspeksi terhadap produk coran berupa *toroidal piston* melalui proses *aluminium sand casting* dengan variasi jenis saluran, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil coran berupa *toroidal piston* melalui proses *aluminium sand casting* dengan variasi jenis saluran ternyata menghasilkan produk yang tidak sesuai dengan desain awal. Hal ini ditandai dengan adanya porositas pada produk cor. Selain itu, terdapat pula penyusutan dan permukaan produk yang kasar.

2. Hasil coran *parting line gating system* memiliki nilai persentase porositas terendah bila dibandingkan hasil coran jenis sistem saluran yang lain.
3. Penyusutan terjadi pada semua hasil coran. Hasil coran *parting line gating system* memiliki nilai penyusutan tertinggi dari pada hasil coran jenis saluran yang lain.
4. Semua produk hasil coran memiliki kekasaran permukaan yang relatif tinggi. Hal ini disebabkan proses pengeringan terlalu lama sehingga menghasilkan kualitas cetakan yang rendah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Soeharto, DEA atas bimbingan dan masukan kepada penulis dalam penyelesaian artikel ilmiah ini. Tidak lupa juga kepada Ibu Dr. Ir. H.C Kis Agustin, DEA, Bapak Ir. Hari Subiyanto, M.Sc, dan Bapak Indra Sidharta, ST, M.Sc. selaku dosen pembahas. Kepada teman-teman laboratorium Metalurgi, dan semua pihak yang berkenan meluangkan waktu untuk diskusi bersama. Terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Park, S.W. (2010). *Optimization of Combustion Chamber Geometry for Stoichiometric Diesel Combustion Using A Micro Genetic Algorithm*. Fuel Processing Technology 91 (2010) 1742–1752.
- [2] Mikell P. Groover. *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems, Fourth Edition*. New York : John Wiley & Sons, (2010).
- [3] Trimble, George S. *Design and Fabrication of Piston. SIC Vol 2*. New York : McGraw- Hill, Inc. Ammen, C.W. (1979). *The Complete Book of Sand Casting*. New York : McGraw- Hill, Inc., (1989).
- [4] Piston Catalog. (2010). Arco. www.arcomoto.com