Studi Eksperimen pada *Investment Casting* dengan Komposisi *Ceramic Shell* yang Berbeda dalam Pembuatan Produk *Toroidal Piston*

Arif Setiyono 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

***Abstrak*—Piston yang terbuat dari bahan paduan aluminium dapat dibuat dengan *investment casting*. Porositas dan kekasaran permukaan yang tinggi sering terjadi pada produk cor hasil *investment casting*. Salah satu penyebabnya adalah kualitas *ceramic shell* yang kurang baik, sehingga diperlukan penelitian tentang komposisi *ceramic shell* pada *investment casting* terhadap kualitas produk, kekasaran permukaan, dan porositas produk cor.**

Eksperimen untuk membuat produk *toroidal piston* dilakukan dalam empat tahap. Tahap pertama adalah pembuatan master pola, cetakan pola dari *silicon rubber*, duplikasi pola lilin, dan perakitan pohon lilin. Tahap kedua pembuatan *ceramic slurry* dengan komposisi: tipe 1 (95% alumina dan 5% gipsum), tipe 2 (90% alumina dan 10% gipsum), tipe 3 (85% alumina dan 15% gipsum), dan tipe 4 (80% alumina dan 20% gipsum). Proses *coating* pada pohon lilin dilakukan hingga ketebalan 10 mm (5x pelapisan primer dengan *ceramic slurry* dan 3x pelapisan sekunder dengan pasir silika). Tahap ketiga adalah *dewaxing* pada temperatur 120ºC, kemudian *sintering* pada temperatur 25 - 340ºC dan 340 - 730ºC dengan masing-masing *holding time* 30 menit. Tahap keempat adalah pengecoran dengan temperatur 700°C. Hasil produk cor dilakukan pengukuran kekasaran permukaan dengan *Surface Roughness Tester* dan pengukuran porositas kuantitatif dilakukan dengan cara menghitung perbandingan volume porositas terhadap volume total spesimen.

Hasil penelitian menunjukan bahwa penambahan gipsum dalam *ceramic slurry* sebesar 5% dan 10% telah menghasilkan porositas mikro, sedangkan 15% dan 20% menghasilkan porositas mikro dan rongga udara pada produk cor. Selain itu, penambahan gipsum dalam *ceramic slurry* (5% hingga 20%) menghasilkan kekasaran permukaan dari 7,71 m meningkat hingga 11,36 m dan porositas produk cor dari 5,16% meningkat hingga 15,38%.

***Kata kunci* : toroidal piston, investment casting, ceramic shell, surface roughness, porositas.**

I. PENDAHULUAN

PISTON merupakan komponen *reciprocating engines* yang berfungsi mentransfer gaya akibat ledakan energi bahan bakar didalam silinder menuju *crank shaft* melalui *conecting rod* [1]. Desain kepala piston (*crown*) yang optimal memang sangat diperlukan untuk menghasilkan geometri ruang bakar yang sempurna, yang mana efeknya dapat berpengaruh pada performa mesin itu sendiri. Desain kepala piston pada mesin diesel yang paling optimal adalah berbentuk *toroidal* dengan tipe *shallow bowl,* karena geometri ruang bakar yang dihasilkan dapat meningkatkan konsumsi bahan bakar spesifiknya hingga mencapai 35% dan mampu mereduksi gas polutan yang dihasilkan seperti jelaga, NO_x, CO, dan HC. Hal ini disebabkan geometri ruang bakar yang dihasilkan oleh desain kepala piston berbentuk *toroidal* dapat memberikan kesempatan injeksi bahan bakar untuk teratomisasi dan terbakar secara sempurna [2].

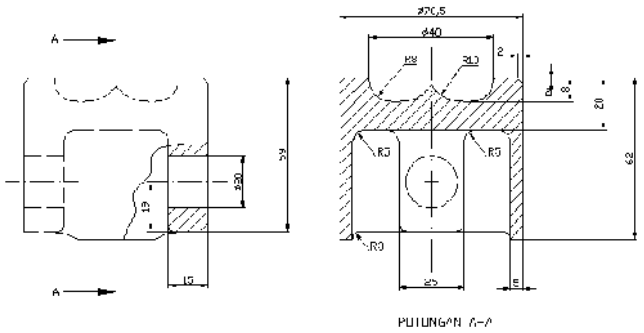
Piston yang terbuat dari bahan paduan aluminium dapat dibuat dengan metode cetak tekan (*squeeze casting)* dan pola hilang (*investment casting*) [3]. Pembuatan piston dengan metode *squeeze casting* mampu menghasilkan produk tanpa porositas tetapi piston yang dihasilkan masih perlu mendapatkan proses permesinan lanjut untuk membentuk kepala piston dan mengurangi kelebihan dimensi sehingga akan menaikan biaya produksi [4]. Sedangkan pembuatan piston dengan metode *investment casting* mampu menghasilkan produk piston tanpa memerlukan proses permesinan lebih lanjut. Meskipun demikian, masalah porositas juga sering ditemui pada *investment casting* [5]. Hal ini sangat merugikan, karena porositas dapat menurunkan kekuatan material, yang mana porositas tersebut akan menjadi sumber tegangan yang mengakibatkan awal terjadinya retakan [3,5,6].

Beberapa pengontrolan porositas pada produk hasil *investment casting* khususnya dengan metode *ceramic shell* dapat dilakukan dengan mengkaji ulang tentang parameter komposisi *ceramic shell*. Komposisi *ceramic shell* yang tepat akan dapat meningkatkan ketahanan dinding *ceramic shell* terhadap reaksi logam cair, sehingga gas H_2, O_2, CO_2, dan CO yang dihasilkan akibat reaksi kimia antara logam cair dangan dinding *ceramic shell* dapat dicegah, sehingga produk cor memiliki persentase porositas yang rendah [4]. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian pembuatan produk *toroidal piston* dengan cara *investment casting* menggunakan metode *ceramic shell* dengan harapan dapat menurunkan harga kekasaran permukaan dan persentase porositas pada produk cor [4, 5].

II. METODE PENELITIAN

A. *Desain Produk Cor*

Desain produk yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada spesifikasi piston merk x seperti pada Gambar 1.



Gambar. 1. Gambar teknik dan dimensi *toroidal piston [7].*

B. Material dan Peralatan Penelitian

Material penelitian yang digunakan dalam *investment casting* dengan metode *ceramic shell* adalah lilin (*wax*), bubuk gipsum, s*ilicon rubber,* alumina, pasir silika, aluminium seri 6061. Sedangkan peralatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah neraca jarum, i*nvestment mixing basin,* pengayak pasir, jangka sorong, *wax melting out container, burn-out furnace,* dapur peleburan logam, palu besi, gergaji logam, bejana ukur, mesin *ginding* dan *polishing*, timbangan digital, *surface roughness tester.*

C. Langkah-langkah Percobaan

Langkah-langkah percobaan pada penelitian ini dibagi menjadi 4 tahap, yaitu: tahap persiapan, tahap pelapisan *ceramic shell,* proses pengecoran, tahap pengujian.

Tahap pertama adalah persiapan, yang terdiri dari perancangan dan pembuatan sistem saluran, pembuatan master pola lilin, pembuatan cetakan master pola, dan duplikasi master pola lilin dan perakitan pohon lilin. Perancangan dan pembuatan sistem saluran pada *investment casting* menggunakan sistem pohon yang terdiri dari *pouring cup*, saluran masuk (*sprue*), dan saluran penghubung (*gate*).

Ketebalan rata-rata benda cor pada penelitian ini adalah 10 mm, maka untuk menentukan panjang sisi *sprue* atas, ketinggian *sprue*, panjang sisi *sprue* bagian bawah, luas permukaan bawah *sprue,* dan luas *gate* dapat menggunakan persamaan (1), (2), (3), (4), dan (5) [8].

$$Sa = 3{,}5 \times t \tag{1}$$

$$Ts = 6 \times Sa \tag{2}$$

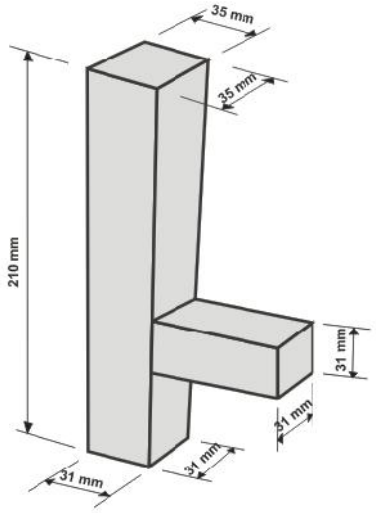
$$Sb = 2\left(\frac{1}{2}Sa - \left(Ts \times \cos 0{,}5°\right)\right) \tag{3}$$

$$Ab = Sb^2 \tag{4}$$

$$Ag = Ab \tag{5}$$

Dimana : Sa = panjang sisi *sprue* atas (mm); t = tebal rata-rata benda cor (mm); Ts = ketinggian *sprue* (mm); Sb = panjang sisi *sprue* bagian bawah (mm); Ab = luas permukaan bawah *sprue* (mm²); Ag = luas *gate* (mm²)

Berdasarkan data hasil perhitungan dibuat rancangan sistem saluran pada *investment casting* (Gambar 2).



Gambar. 2. Rancangan sistem saluran pada *investment casting*

Model master pola yang mengacu pada desain piston merk x dibuat dari bahan lilin (*wax*). Cetakan master pola dibuat dengan cara melakukan pelapisan ulang master pola menggnakan bahan *silicon rubber.* Pola lilin *toroidal piston* dapat diduplikasi dengan menggunakan cetakan *silicon rubber* yang telah dibuat, sedangkan sistem saluran yang terdiri dari *pouring basin*, *sprue*, dan *gate* dibuat dari lilin secara manual. Kemudian pola lilin dirakit dengan sistem saluran (*pouring cup, sprue,*dan *gate)* hingga membentuk pohon lilin.

(a) (b)

Gambar. 3. (a) Duplikasi pola lilin (b) Pohon lilin pada *investment casting*

Tahap kedua adalah pembuatan *ceramic slurry* yang dimulai dengan penimbangan massa alumina dan gipsum. Selanjutnya alumina dan gipsum dicampur air dengan perbandingan 1 : 3 dan diaduk di dalam *Investment Mixing Basin* selama 10 menit hingga merata.

Dalam penelitian ini akan dibuat empat tipe komposisi *ceramic slurry*, yaitu:

1. *Ceramic slurry* tipe 1 yang memiliki komposisi 95% alumina dan 5% gipsum
2. *Ceramic slurry* tipe 2 yang memiliki komposisi 90% alumina dan 10% gipsum
3. *Ceramic slurry* tipe 3 yang memiliki komposisi 85% alumina dan 15% gipsum
4. *Ceramic slurry* tipe 4 yangmemiliki komposisi 80% alumina dan 20% gipsum

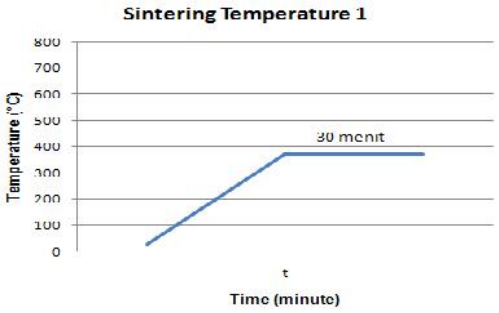
Proses *coating* pada pohon lilin dilakukan secara bertahap, yaitu : pelapisan primer sebanyak 5x dengan *ceramic slurry* (Gambar 4a) dan pelapisan sekunder

sebanyak 3x dengan pasir silika (Gambar 4b) sampai diperoleh ketebalan lapisan *ceramic shell* sekitar 10 mm. Proses pelapisan terdiri dari pelapisan primer awal dilakukan sebanyak 2x, selanjutnya dilakukan pelapisan primer dan sekunder masing masing 1x. Kemudian diakhiri dengan pelapisan primer sebanyak 1x.

(a) (b) (c)

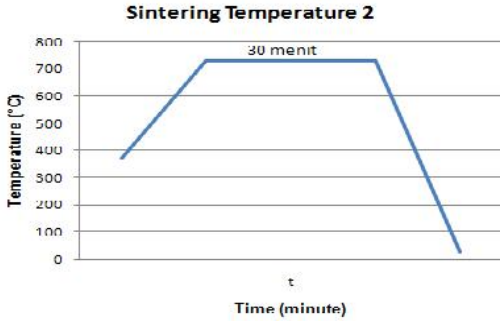
Gambar. 4. (a) Proses pelapisan dengan *ceramic slurry*, (b) Proses pelapisan dengan pasir silika, (c) Pohon lilin yang terlapisi c*eramic shell*

Ceramic shell yang sudah jadi (Gambar 4c) diproses *dewaxing* dan *sintering* [4, 5]. Proses *dewaxing* bertujuan untuk melelehkan pola lilin yang berada di dalam rongga cetakan *ceramic shell* dengan cara dioven dalam *Wax Melting Out Container* pada temperatur 120°C selama 60 menit [5]. Selanjutnya proses *sintering* di dalam *Burn-Out Furnace* dilakukan dalam dua tahap, yaitu: *sintering* tahap pertama dilakukan pada temperatur 25-340°C dengan *holding time* selama 30 menit (Gambar 5).



Gambar. 5. Temperatur seting pada *sintering* tahap 1

Selanjutnya dilakukan *sintering* tahap kedua yaitu pada temperatur 340-730°C dengan *holding time* selama 30 menit (Gambar 6).

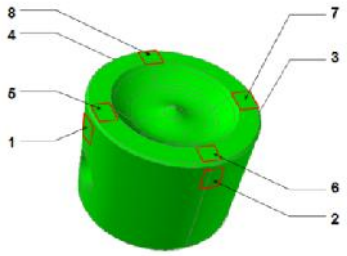


Gambar. 6. Temperatur seting pada *sintering* tahap 2

Tahap ketiga adalah proses pengecoran yang diawali dengan peleburan aluminium paduan pada temperatur ±700ºC [4, 5, 8]. Setelah aluminium paduan mencair, maka *ceramic shell* yang selesai di-*sintering* dapat dikeluarkan dari *Burn-Out Furnace* dan dilakukan dilakukan penuangan aluminium cair kedalam cetakan *ceramic shell* melalui *pouring cup* secara perlahan-lahan hingga rongga cetak dan sistem saluran terisi penuh dengan logam cair. Proses solidifikasi logam cair dilakukan selama 24 jam yang selanjutnya dilakukan penghancuran *ceramic shell* dan pemotongan produk cor dari sistem salurannya .

Tahap keempat adalah pengujian produk cor yang dilakukan untuk mengetahui kualitas produk coran yang ditinjau dari kualitas produk, porositas (*porosity*), dan kekasaran permukaan (*surface roughness*) pada produk cor. Pengkontrolan kualitas produk dilakukan dengan membandingkan dimensi dan geometri produk cor terhadap desain awal yang berupa pola lilin. Pengukuran kekasaran permukaan spesimen dilakukan dengan tiga tahap, yaitu: persiapan spesimen yang dilakukan dengan membersihkan pengotor (seperti: debu dan lemak) yang menempel pada permukaan spesimen permukaan spesimen dengan kain halus, mempersiapkan alat ukur kekasaran permukaan berupa *Profilometer*, pengukuran kekasaran permukaan dilakukan dengan menempelkan stilus (sensor kekasaran permukaan) pada beberapa daerah di bagian permukaan silinder luar piston dan di permukaan luar pada bagian kepala piston (*crown*) dengan panjang gerak pengukuran kekasaran permukaan sebesar 5 mm.

Pengukuran kekasaran permukaan pada spesimen dilakukan pada daerah di bagian silinder luar piston dan pada daerah di sekitar *crown* (Gambar 7)



Gambar. 7. Daerah pengukuran kekasaran permukaan

Pengukuran porositas pada produk cor dilakukan dengan pengujian porositas kuantitatif dan kualitatif. Pengujian porositas kuantitatif digunakan untuk mengetahui persentase porositas pada produk cor yang dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut.

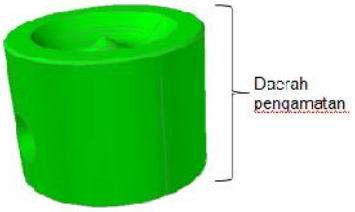
1. Persiapan spesimen, bejana ukur, dan timbangan digital dengan ketelitian hingga dua digit di belakang koma
2. Penimbang spesimen dengan timbangan digital yang memiliki ketelitan hingga dua angka dibelakang koma
3. Pengukuran volume total spesimen dengan menggunakan bejana ukur
4. Perhitungan persentase porositas pada spesimen dilakukan dengan menggunakan persamaan 6 [6]:

$$P = \left(\frac{Vt - \left(\frac{Ms}{\rho} \right)}{Vt} \right) \times 100\% \qquad (6)$$

Keterangan :

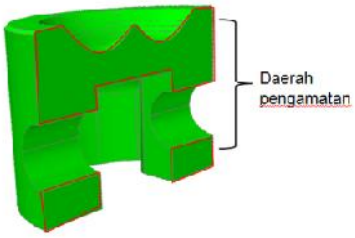
P = Persentase porositas (%)
Vt = Volume total spesimen (cm³)
Ms = Massa spesimen (gr)
ρ = Massa jenis spesimen (gr/cm³)

Pengujian porositas kualitatif diperoleh dengan melakukan pengamatan porositas di bagian *surface* dan *sub-surface*. Porositas di bagian *surface* dilakukan dengan pengamatan visual secara langsung (Gambar 8).



Gambar. 8. Daerah pengamatan kualitatif porositas pada bagian *surface*

Sedangkan untuk pengamatan porositas dibagian *sub-surface* dilakukan dengan memotong produk cor dalam arah melintang (Gambar 9), kemudian dilakukan proses *grinding* dengan menggunakan kertas gosok secara bertahap dengan grade kertas gosok 160, 380, 600, dan 1200.

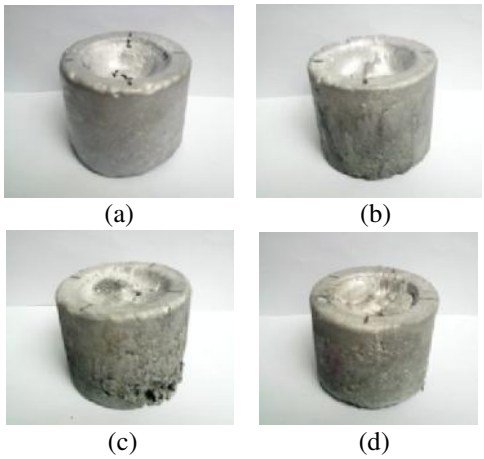


Gambar. 9. Daerah pengamatan kualitatif porositas pada bagian *sub-surface*

III. HASIL DAN DISKUSI

A. *Produk dan Analisa Hasil Pengecoran*

Produk cor hasil *investment casting* telah memiliki banyak porositas dibagian *surface* dan desain *crown* piston yang berbentuk *toroidal* tidak dapat dihasilkan pada seluruh produk cor, baik pada produk cor dari *ceramic shell* tipe 1, 2, 3, dan 4 (Gambar 10).



Gambar. 10. (a) Produk pengecoran dari *ceramic shell* tipe 1, (b) Produk pengecoran dari *ceramic shell* tipe 2, (c) Produk pengecoran dari *ceramic shell* tipe 3, (d) Produk pengecoran dari *ceramic shell* tipe 4

Komposisi gipsum pada *ceramic shell* yang meningkat dari *ceramic shell* tipe 1, 2, 3, dan 4 telah membuat kadar air (H_2O) dalam *ceramic shell* juga meningkat, sehingga ketika dilakukan *dewaxing* pada temperatur 120°C dengan waktu pengovenan yang sama (sekitar 60 menit) maka kemampuan lilin dalam *ceramic shell* untuk meleleh akan menurun. Hal ini dikarenakan kelembapan *ceramic shell* yang meningkat dari *ceramic shell* tipe 1, 2, 3, dan 4. Dampak dari kelembapan yang meningkat ini akan membuat pola lilin yang berada di dalam *ceramic shell* memiliki kemampuan untuk meleleh yang semakin menurun mulai dari *ceramic shell* tipe 1, 2, 3, dan 4, sehingga lilin yang tersisa di dalam rongga cetak akan meningkat.

Sisa lilin pada rongga cetak telah menyebabkan api dan gas ketika proses penuangan logam cair berlangsung karena lilin yang mengandung senyawa karbon $C_xH_yO_z$ akan terbakar jika bertemu logam cair. Gas yang berada pada bagian rongga *crown* piston akan terperangkap dan tidak dapat menembus melalui dinding permukaan *ceramic shell* karena permeabilitas cetakan yang rendah. Ketika proses solidifikasi logam selesai maka gas yang terjebak di dalam rongga *crown* akan menyebabkan kegagalan bentuk *crown* piston pada produk cor (Gambar 10).

B. *Data dan Analisa Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan*

Data hasil pengukuran kekasaran permukaan produk cor dapat diperlihatkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1.
Harga kekasaran permukaan produk cor di daerah silinder luar piston

No. Spe-simen	Komposisi *Ceramic Shell* (%)		Harga Kekasaran Permukaan, Ra (m)				
			Daerah Pengukuran				Rata-rata
	Alu-mina	Gip-sum	1	2	3	4	
1	95	5	9,95	5,05	8,66	11,90	8,89
2	90	10	9,67	11,18	5,66	5,67	8,05
3	85	15	13,08	13,26	9,21	10,34	11,47
4	80	20	9,42	8,17	14,78	11,72	11,02

Tabel 2.
Harga kekasaran permukaan produk cor di daerah sekitar *crown* piston

No. Spe-simen	Komposisi *Ceramic Shell* (%)		Harga Kekasaran Permukaan, Ra (m)				
			Daerah Pengukuran				Rata-rata
	Alu-mina	Gip-sum	5	6	7	8	
1	95	5	9,91	6,17	5,53	9,23	7,71
2	90	10	3,99	6,67	9,13	8,18	6,99
3	85	15	13,38	14,53	8,45	11,40	11,94
4	80	20	12,32	9,50	11,72	11,93	11,36

Harga kekasaran permukaan produk cor pada spesimen nomer 1, 2, 3, dan 4 masih jauh dari harga kekasaran permukaan piston yang diijinkan untuk produk piston. Kekasaran permukaan pada bagian silinder luar piston dan bagian sekitar *crown* piston adalah dalam rentang 11,36 – 7,71 m (N10 – N9), sedangkan harga kekasaran yang diijinkan untuk produk piston adalah 1,6 – 0,4 m (N7 – N5). Pada penelitian ini, komposisi *ceramic slurry* sangat mempengaruhi harga kekasaran permukaan produk cor. Komposisi *ceramic slurry* yang terdiri dari alumina sebagai material tahan api dan gipsum sebagai material pengikat telah memberikan data kekasaran permukaan pada produk

cor yang cenderung meningkat (semakin kasar) dengan penambahan gipsum yang meningkat dalam *ceramic slurry*. Kekasaran permukaan yang cenderung meningkat terjadi pada bagian silinder luar piston (Tabel 1) maupun bagian di sekitar *crown* piston (Tabel 2).

Kekasaran permukaan produk cor diakibatkan karena proses penuangan logam cair kedalam rongga cetak yang tidak stabil menyebabkan dinding permukaan *ceramic shell* mengalami dekomposisi *investment* (bereaksi dengan logam cair). Tingkat kekasaran permukaan dinding *ceramic shell* akan meningkat sebanding dengan penambahan gipsum ($CaSO_4$) dalam *ceramic slurry* yang mana menyebabkan ketahanan dinding permukaan *ceramic shell* menjadi turun.

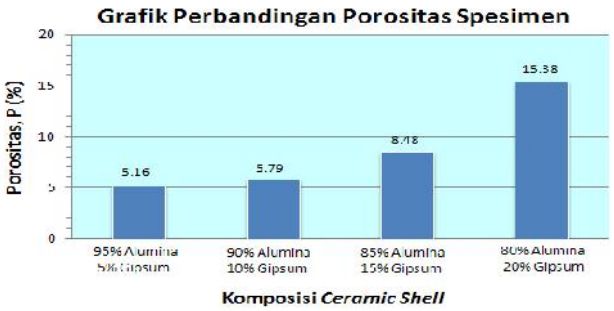
Penuangan logam cair pada temperatur 700°C akan menguraikan $CaSO_4$ menjadi SO_2 dan CaO karena $CaSO_4$ akan mulai terurai pada temperatur 650°C. Dengan berjalannya waktu, saat penuangan logam cair berlangsung maka kadar $CaSO_4$ dalam dinding *ceramic slurry* akan berkurang dan menyebabkan dinding perukaan *ceramic shell* menjadi lebih kasar. Sehingga reaksi dekomposisi *investment* akan mengakibatkan penguraian $CaSO_4$ menjadi SO_2 dan CaO sampai logam cair mengalami pembekuan secara menyeluruh dan proses dekomposisi *investment* berhenti. Jadi, setelah proses pembekuan logam selesai maka kekasaran permukaan pada dinding *ceramic shell* akan menjadi kekasaran permukaan produk cor.

C. Data dan Analisa Hasil Pengukuran Porositas

Berdasarkan data spesifikasi aluminium paduan dengan seri 6061 yang memiliki massa jenis (ρ) 2,70 gr/cm³ dan data hasil pengukuran volume total dan massa spesimen, maka dapat dihitung persentase porositas untuk masing-masing spesimen dengan persamaan 6. Data hasil penhukuran porositas kuantitatif pada produk cor dapat diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3.
Data hasil pengukuran kuantitatif porositas pada produk cor

No. Spesimen	Komposisi *Ceramic Shell (%)*		Pengukuran Porositas		
	Alumina	Gipsum	Vt (cm³)	Ms (gr)	P (%)
1	95	5	141,65	362,73	5,16
2	90	10	133,32	339,13	5,79
3	85	15	116,66	288,28	8,48
4	80	20	124,99	285,59	15,38



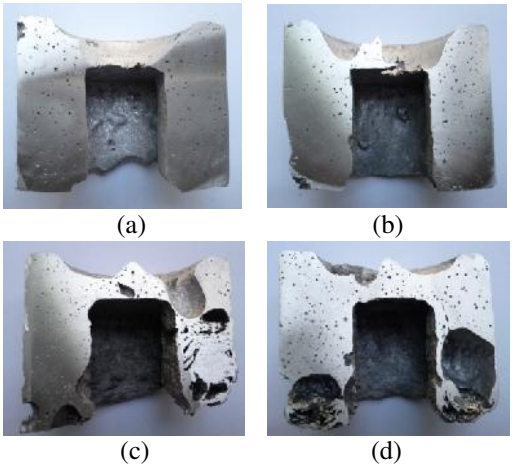
Gambar. 11. Grafik perbandingan persentase porositas produk cor hasil *investment casting*

Komposisi *ceramic slurry* yang terdiri dari alumina sebagai material tahan api dan gipsum sebagai material pengikat telah memberikan data kuantitatif dari persentase porositas produk cor yang cenderung meningkat dengan meningkatnya persentase gipsum di dalam *ceramic slurry*. Persentase porositas produk cor akan meningkat karena *ceramic shell* yang mengandung material pengikat berupa gipsum ($CaSO_4$) akan bereaksi dengan logam cair. Persentase gipsum yang tinggi dalam *ceramic shell* akan menyebabkan ketahanan dinding permukaan *ceramic shell* menjadi turun sehingga mudah berdekomposisi dengan logam cair. Selama dinding permukaan *ceramic shell* berdekomposisi dengan logam cair maka akan terjadi proses penguraian $CaSO_4$ menjadi SO_2 dan CaO hingga proses solidifikasi selesai secara menyeluruh. Sehingga besarnya kandungan SO_2 yang menyebabkan porositas pada produk cor hasil *investment casting* cenderung sebanding dengan persentase $CaSO_4$ yang digunakan dalam pembuatan *ceramic slurry*. Reaksi penguraian gipsum akibat beraksi dengan logam cair adalah sebagai berikut.

$$CaSO_4 - SO_2 + CaO$$

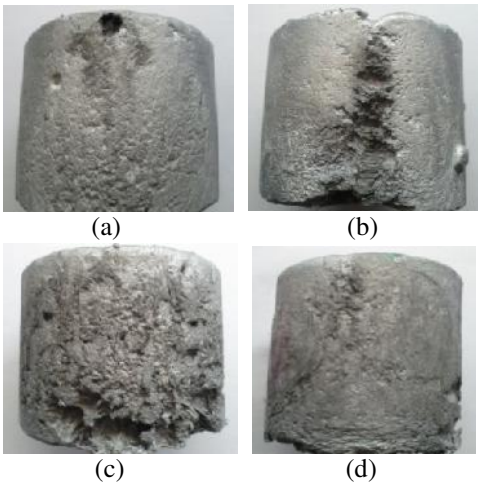
$$2SO_2 \rightarrow S_2 + 2O_2$$

Gas SO_2 yang terperangkap dalam rongga cetak akan terurai menjadi gas O_2 dan S_2 yang bergerak keatas menuju ventilasi dan sebagian akan bergerak menuju ke sistem saluran. Karena gas O_2 dan S_2 memiliki massa jenis lebih ringan jika dibandingkan dengan massa jenis logam cair, maka pergerakan gas O_2 dan S_2 yang menuju ke atas akan berlangsung secara terus menerus hingga senyawa sulfida yang terkandung dalam gipsum habis terurai dan proses solidifikasi telah terjadi secara menyeluruh. Gas O_2 dan S_2 menyebabkan porositas pada *sub-surface* ketika gas O_2 dan S_2 tidak mampu keluar melalui ventilasi atau sistem saluran, sehingga gas O_2 dan S_2 tertahan didalam produk cor saat proses solidifikasi selesai (Gambar 12).



Gambar. 12. (a) Porositas *sub-surface* pada produk cor 1, (b) Porositas *sub-surface* pada produk cor 2, (c) Porositas *sub-surface* pada produk cor 3, (d) Porositas *sub-surface* pada produk cor 4

Sedangkan gas O_2 dan S_2 yang muncul di bagian antar muka dinding *ceramic shell* dengan permukaan logam cair akan akan menyebabkan porositas *surface* (Gambar 13).



Gambar. 13. (a) Porositas *surface* pada produk cor 1, (b) Porositas *surface* pada produk cor 2, (c) Porositas *surface* pada produk cor 3, (d) Porositas *surface* pada produk cor 4

Penambahan gipsum pada *ceramic shell* tipe 1, 2, 3, dan 4 membuat kadar air (H_2O) dalam *ceramic shell* juga meningkat, sehingga ketika dilakukan proses *dewaxing* pada temperatur 120°C dengan waktu pengovenan yang sama yaitu sekitar 60 menit maka kemampuan lilin dalam *ceramic shell* untuk meleleh akan menurun. Hal ini disebabkan kelembapan *ceramic shell* meningkat dari *ceramic shell* tipe 1, 2, 3, dan 4. Dampak dari kelembapan yang meningkat ini pola lilin yang berada di dalam *ceramic shell* memiliki kemampuan untuk meleleh yang semakin menurun mulai dari *ceramic shell* tipe 1, 2, 3, dan 4, sehingga lilin yang tersisa di dalam rongga cetak akan meningkat. Sisa lilin pada bagian rongga cetak akan terbakar jika bereaksi dengan logam cair karena lilin mengandung senyawa karbon $C_xH_yO_z$. Senyawa karbon ini akan bertindak sebagai bahan bakar ketika bereaksi dengan panas yang ditimbulkan oleh logam cair sehingga muncul nyala api dan asap ketika penuangan logam cair berlangsung.

Ceramic shell tipe 1 dan 2 cenderung memiliki sisa lilin yang sedikit di bagian rongga cetak sehingga pada saat penuangan logam cair muncul api kecil. Oleh karena itu, porositas pada produk cor dari *ceramic shell* tipe 1 dan 2 cenderung dipengaruhi oleh reaksi dekomposisi gipsum yang mana mengakibatkan porositas berbentuk rongga kecil yang tersebar pada bagian *sub-surface* (Gambar 12a dan Gambar 12b). Sedangkan pada *ceramic shell* tipe 3 dan 4 cenderung memiliki sisa lilin yang banyak di bagian rongga cetak sehingga pada saat penuangan logam cair muncul api cukup besar yang disertai dengan asap putih. Gas (asap putih) yang keluar dari pengecoran *ceramic shell* tipe 3 dan 4 akan berusaha keluar menuju sistem saluran dan ventilasi. Oleh karena itu, porositas pada produk cor dari *ceramic shell* tipe 3 dan 4 cenderung dipengaruhi oleh reaksi dekomposisi gipsum dan gas hasil pembekaran sisa lilin dari dalam rongga cetak. Ketika proses solidifikasi selesai maka hasil reaksi dekomposisi ini akan menyebabkan porositas mikro dan rongga udara pada bagian *sub-surface* (Gambar 12c dan Gambar 12d).

IV. KESIMPULAN

- Persentase gipsum ($CaSO_4$) dalam *ceramic slurry* sebesar 5% dan 10% menghasilkan porositas mikro, sedangkan 15% dan 20% telah menghasilkan porositas mikro dan rongga udara pada produk cor di bagian *sub-surface* yang diakibatkan oleh api dan gas dari sisa lilin
- Penambahan gipsum ($CaSO_4$) dalam *ceramic slurry* sebesar 5% hingga 20% telah menghasilkan kekasaran permukaan produk cor dari 7,71 μm meningkat 11,36 m dan porositas produk cor dari 5,16% meningkat 15,38%
- Penambahan gipsum ($CaSO_4$) dalam *ceramic slurry* menyebabkan kadar air pada *ceramic shell* meningkat sehingga proses d*ewaxing* tidak sempurna untuk temperatur dan waktu yang sama (120°C, 60 menit)

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis A.S. mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Pendidikan Tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Heywood, John B., *Internal Combustion Engine Fundamentals.* New York (1988).
[2] Park, S.W., *Optimization of Combustion Chamber Geometry for Stoichiometric Diesel Combustion Using A Micro Genetic Algorithm.* Journal Fuel Processing Technology 91 (2010) 1742–1752.
[3] Departement of Commerce. *DOE Fundamental Handbook : Mechanical Science*. (1993, Januari) Vol 1.
[4] ASM Handbook Committee. *ASM Metals Handbook 9th Edition: Casting*. Volume 15 (1992) Ohio, Amerika : ASM International
[5] Ott, Dieter. *The Los Wax Casting Process for Carat Gold Jewellery Manufacturer* (2003, Mei).
[6] Borrelli, Ernesto. *Conservation of Architectural Heritage, Historic Structures and Materials: Porosity*. Volume 11-14 (1999).
[7] Piston Catalog (2010). Arco. www.arcomoto.com
[8] Surdia, T. dan Chijiiwa ,K. *Teknik Pengecoran Logam.* Edisi ke-2 (2000).