

PEMANFAATAN PASIR ZIRKON LOKAL UNTUK CETAKAN KERAMIK PADA PROSES PENGECORAN PRESISI

USING THE LOCAL ZIRCON SAND FOR CERAMIC MOLD OF PRECISION CASTING

Sri Bimo Pratomo, Martin Doloksaribu, dan Eva Afrilinda

Balai Besar Logam dan Mesin, Kementerian Perindustrian

Jl. Sangkuriang No.12, Bandung - Indonesia

e-mail: *bimo_bblm@yahoo.com*

diajukan: 26/02/2014, direvisi: 21/03/2014, disetujui: 14/04/2014

ABSTRACT

One of the Indonesia potential mineral resources is zircon sand which is abundant in the rivers on the Kalimantan Island. Among the use of zircon sand is to ceramic mold in precision casting (investment casting) industries. Unfortunately, the use of local zircon sand is still not optimal, because the metal penetration defects still occurred. The purpose of this research was to examine the relationship between the ability of local zircon sand to withstand heat to prevent metal penetration defects. The method of this research is to compare the five types of primary layer ceramic molds made by various types of flour and zircon sand as ceramic mold material of precision casting. This conducted visual and roughness testing on the casting product, as well chemical composition, particle distribution and macro structure analysis. Modification of making the primary layer by adding a facing layer become two layers; i.e. primary slurry layers and primary slurry layer sprinkled with zircon sand, proven to eliminate metal penetration defects. Using the zircon flour type 2 and zircon sand type c that have more uniform particle size distribution can produce metal penetration free and smooth surface (roughness value is 4.9 μm) of the casting products. This was due to increasing the density of the primary layer which will improve the heat resistance of the ceramic mold and filling the fine zircon flour into cavity between sand grain on the surface of primary layer which will keep the ceramic mold surface smoothness.

Keywords: zircon sand, zircon flour, investment casting, primary layer, metal penetration defect

ABSTRAK

Salah satu sumber daya mineral Indonesia yang cukup potensial adalah pasir zirkon yang banyak terdapat di aliran sungai-sungai di pulau Kalimantan. Diantara penggunaan pasir zirkon adalah untuk cetakan keramik di industri pengecoran presisi (*investment casting*). Tetapi sangat disayangkan penggunaan pasir zirkon lokal tersebut masih belum optimal, karena produk cor yang dihasilkan mengalami cacat penetrasi logam. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melihat hubungan antara sifat pasir zirkon lokal terhadap kemampuannya menahan panas untuk mencegah cacat penetrasi logam. Metoda penelitian yang dilakukan adalah membandingkan lima jenis lapisan primer cetakan keramik yang terbuat dari berbagai jenis tepung dan pasir zirkon sebagai bahan cetakan keramik pengecoran presisi. Pengujian yang dilakukan adalah uji visual dan kekasaran pada produk cor, serta analisis komposisi kimia, distribusi pasir dan struktur makro pada pasir zirkon. Modifikasi pembuatan lapisan primer menjadi dua lapis; dengan lapisan pertama berupa lumpur primer dan lapisan kedua berupa lumpur primer yang ditaburi pasir zirkon, terbukti dapat menghilangkan cacat penetrasi logam. Penggunaan tepung zirkon tipe 2 dan pasir zirkon tipe c dengan distribusi ukuran partikel yang lebih merata dapat menghasilkan produk cor yang bebas cacat penetrasi logam serta memiliki permukaan produk cor yang halus, dengan nilai kekasaran 4,9 μm . Hal tersebut disebabkan karena adanya peningkatan densitas lapisan primer yang akan meningkatkan ketahanan panas cetakan keramik serta terisinya rongga-rongga butiran pasir pada permukaan lapisan primer oleh tepung zirkon yang halus sehingga menjaga kehalusan permukaan cetakan keramik.

Kata kunci: pasir zirkon, tepung zirkon, pengecoran presisi, lapisan primer, cacat penetrasi logam

PENDAHULUAN

Proses pengecoran presisi atau dikenal juga sebagai proses *investment casting*, saat ini menjadi teknik untuk proses

pengecoran yang banyak dipakai karena dapat menghasilkan produk cor yang rumit serta tipis dengan toleransi dimensi 0,4 hingga 1,6 mm dan kehalusan permukaan 0,8 hingga 3,8 μm (R.L. Saha, T.K. Nandy.

1990). Lumpur keramik (*ceramic slurry*) melapisi pola lilin untuk kemudian dikeringkan, dan dilakukan berulang ulang lima hingga delapan lapisan, sehingga menghasilkan cetakan keramik. Lilin dapat dipakai berulang-ulang, sedangkan cetakan keramik hanya dapat dipakai sekali saja. Cetakan keramik terdiri dari beberapa lapisan keramik. Setiap lapisan terdiri dari lapisan tipis yang berupa lumpur (*slurry*) dengan taburan partikel pasir tahan api pada permukaannya (Metal Handbooks volume 15. 1988, Batwinder Singh Sidhu, Pradeep Kumar. 2008).

Bahan untuk keramik umumnya terdiri dari campuran silika, alumina dan zirkon (W.M. Carty, H. Lee, E. Reeves. 2009). Rumus kimia pasir zirkon adalah $ZrSiO_4$ (*zirconium silicate*), yang merupakan material tahan api dan memiliki sifat yang sangat baik untuk proses pengecoran, seperti ekspansi panas yang sangat rendah, laju pendinginan (*chilling rate*) yang tinggi, dan reaktivitas terhadap logam cair yang sangat rendah (American Foundrymen's society. 1978). Keramik yang terbuat dari zirkon memiliki sifat yang unggul seperti sifat refraktori yang tinggi, ekspansi panas dan konduktivitas panas yang rendah, serta ketahanan terhadap media asam yang tinggi, sehingga banyak dipakai pada industri pengecoran (M.N. Achenyuk, S.E. Porosova. 2012).

Produk cor hasil dari proses pengecoran presisi umumnya untuk digunakan langsung tanpa proses permesinan, sehingga cetakan keramik harus mampu menahan penetrasi cairan logam dan memiliki permukaan yang halus sehingga dapat menghasilkan produk cor tanpa proses pemesinan. Karakteristik tersebut dipengaruhi oleh sifat fisik dan sifat kimiawi pasir yang digunakan.

Cacat penetrasi logam (*metal penetration*) adalah cacat pada permukaan produk cor dimana logam mengisi rongga-rongga diantara butir pasir (The Atlas Foundry Company. 2006). Bentuk cacat penetrasi logam adalah tertinggalnya sebagian cairan logam pada batas muka cetakan - logam di daerah terjadinya panas berlebih (*over heating*). Penyebab dari cacat penetrasi logam terbagi menjadi tiga model. Model yang pertama adalah penetrasi

logam dimana logam cair masuk ke dalam lubang-lubang di antara cetakan. Penetrasi ini disebabkan oleh tekanan kapiler dan tekanan akibat ketinggian penuangan yang lebih besar dibandingkan dengan gaya tahan tegangan permukaan. Model yang kedua adalah penetrasi logam dalam bentuk uap logam yang masuk ke dalam cetakan. Uap logam yang terpenetrasi lalu terkondensasi menjadi cairan kembali dan akhirnya membeku. Logam yang membeku tersebut merubah sifat tegangan permukaan yang berakibat penetrasi logam cair berlanjut sesuai dengan mekanisme model pertama. Sedangkan model ketiga adalah penetrasi akibat reaksi kimia yang terjadi antara elemen pepadu, pengikat cetakan dan pasir (B.E. Brooks, C. Beckermann, V.L. Richards, 2007). Untuk mencegah cacat penetrasi dapat dilakukan dengan cara memperkecil lubang-lubang di antara pasir cetakan (J.M.Svoboda and G.H.Gieger. 1969).

Deposit pasir zirkon terbanyak ditemukan di Australia dan Afrika Selatan. Daerah lain yang juga menghasilkan pasir zirkon adalah Asia Selatan dan Tenggara, China, Afrika barat dan Timur, Ukraina, serta Amerika Utara dan Selatan (Zircon Industry Association Ltd.). Indonesia memiliki banyak cadangan pasir zirkon, banyak ditemukan di aliran sungai di Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah, seperti di daerah Sintang, Melawi, Pangkalan Bun dan Kumai (Sri Bimo Pratomo. 2014). Dengan adanya Undang-Undang Mineral dan batubara nomor 4 tahun 2009 dan peraturan turunannya berupa Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral nomor 7 tahun 2012, tentang peningkatan nilai tambah mineral melalui kegiatan pengolahan dan pemurnian mineral di dalam negeri, maka pasir zirkon, yang termasuk dalam komoditas mineral dalam peraturan tersebut, harus diolah terlebih dahulu sehingga mencapai batas minimum kemurniannya sebelum diekspor ke luar negeri (Undang-Undang Minerba nomor 4 tahun 2009, Peraturan Menteri Energi dan Dan Sumber Daya Mineral nomor 7 tahun 2012).

Usaha penambangan pasir zirkon di pulau Kalimantan sedang berupaya untuk dapat memurnikan pasir zirkon agar dapat

diekspor dan dapat digunakan oleh industri di dalam negeri, diantaranya agar dapat digunakan untuk bahan cetakan keramik untuk pengecoran presisi. Tetapi upaya tersebut belum mencapai hasil yang memuaskan, karena pasir zirkon untuk cetakan keramik belum dapat menghasilkan produk cor yang bebas cacat cor, terutama cacat sinter, akibat adanya penetrasi logam cair ke dalam cetakan keramik. Hal tersebut disebabkan karena tidak kuatnya cetakan keramik saat bersentuhan dengan logam cair.

Berdasarkan hal tersebut di atas, maka dilaksanakan kerjasama penelitian antara Balai Besar Logam dan Mesin dan industri penambangan pasir zirkon, tentang "Pemanfaatan Pasir Zirkon Lokal Untuk Cetakan Keramik Pada Proses Pengecoran Presisi". Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan antara sifat pasir zirkon / tepung zirkon yang digunakan untuk cetakan keramik terhadap kekuatannya menahan penetrasi logam cair. Disamping itu dibandingkan juga ketahanan cetakan keramik yang menggunakan pasir zirkon lokal dan pasir zirkon impor (Australia) yang sudah terlebih dahulu digunakan oleh industri pengecoran presisi di Indonesia, untuk menahan penetrasi logam. Diharapkan dari hasil penelitian ini akan dapat membantu upaya pemerintah untuk mendorong pengolahan komoditas mineral di dalam negeri dengan nilai tambah yang lebih tinggi.

METODE

Penelitian ini adalah penelitian terapan yang meneliti kekuatan lapisan primer (*primary layer*) dari cetakan keramik, yang menggunakan dua jenis tepung zirkon lokal dan dua jenis pasir zirkon lokal serta satu jenis pasir zirkon impor, untuk menahan penetrasi logam cair. Selain itu juga akan menganalisis pengaruh tepung zirkon dan pasir zirkon terhadap kehalusan permukaan produk cor.

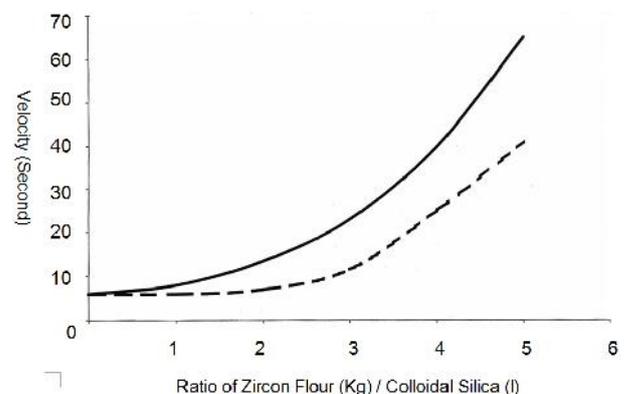
Bahan yang digunakan untuk penelitian ini adalah berbagai jenis pasir zirkon (lokal dan impor) dan berbagai jenis tepung zirkon (lokal) untuk membuat berbagai jenis lapisan primer (*primary layer*) cetakan keramik. Tabel 1 berikut ini

memperlihatkan jenis-jenis tepung zirkon dan pasir zirkon yang digunakan di dalam penelitian ini.

Tabel 1. Jenis tepung zirkon dan pasir zirkon yang digunakan di dalam penelitian

Tipe	Nama Tepung Zirkon	Tipe	Nama Pasir Zirkon
1	MF-506 (lokal)	a	MF-8012 (lokal)
2	MC-301 (lokal)	b	Iwatani (impor)
		c	ZrO ₂ -655 (lokal)

Metode dimulai dengan pembuatan dua jenis lumpur primer (*primary slurry*) yang masing-masing adalah campuran dari *colloidal silica* dan tepung zirkon tipe 1 atau tipe 2 dengan kekentalan sebesar 55 detik. Masing masing diberi nama lumpur primer 1 dan lumpur primer 2. Lumpur primer 1 dan 2 masing-masing ditambahkan *defoamer* (0,1% berat) dan *surface active agent* (0,3% berat). Tujuannya adalah untuk mencegah terjadinya gelembung udara serta meningkatkan daya lekat (*adhesi*) antara lumpur primer dan pola lilin. Pengukuran kekentalan dilakukan dengan cara memasukkan lumpur primer ke dalam *zarn cup*, dan dihitung waktu untuk mengeluarkannya dari *zarn cup*, sebagai nilai kekentalan dari lumpur primer. Perbandingan berat tepung zirkon (Kg) dan volume *colloidal silica* (l) yang digunakan ditunjukkan dengan Gambar 1. Lumpur primer digunakan untuk membuat lapisan primer (*primary layer*) cetakan keramik



Gambar 1. Kurva kekentalan *slurry* terhadap rasio berat *zircon flour* dan volume *colloidal silica* (Sri Bimo Pratomo. 2000)

Tabel 2 memperlihatkan lima jenis lapisan primer yang terbuat dari lumpur primer 1 atau 2, dengan taburan pasir zirkon a, b atau c. Lima jenis lapisan primer menjadi variabel untuk penelitian ini.

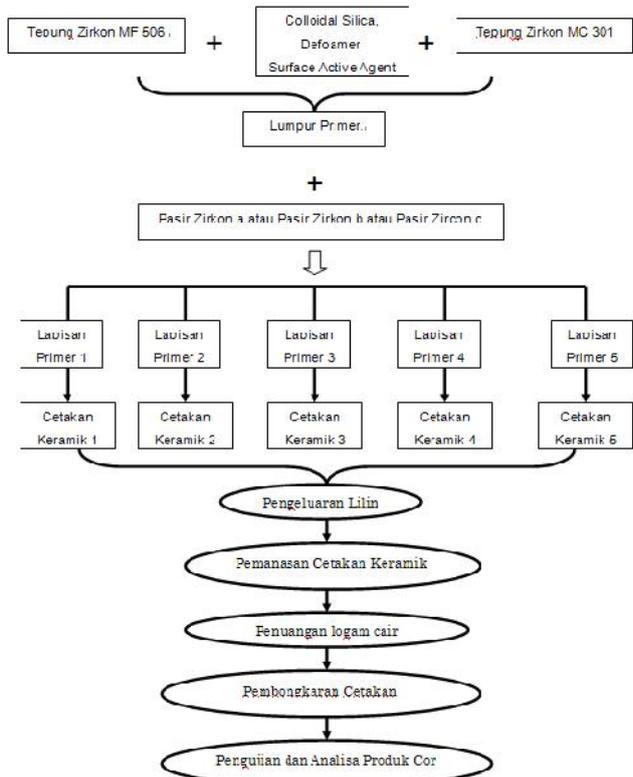
Tabel 2. Lima jenis lapisan primer sebagai variabel di dalam penelitian

Jenis Lapisan Primer	Motoda Pembuatan Lapisan Primer
1	Pencelupan dengan lumpur primer 1, kemudian ditaburi dengan pasir zirkon a
2	Pencelupan dengan lumpur primer 1, dikeringkan, lalu dicelup dengan lumpur primer 1 kembali, kemudian ditaburi dengan pasir zirkon a
3	Pencelupan dengan lumpur primer 1, kemudian ditaburi dengan pasir zirkon b
4	Pencelupan dengan lumpur primer 1, dikeringkan, lalu dicelup dengan lumpur primer 1 kembali, kemudian ditaburi dengan pasir zirkon b
5	Pencelupan dengan lumpur primer 2, kemudian ditaburi dengan pasir zirkon c

Setelah lapisan primer kering dan mengeras, lalu dilapisi dengan lapisan sekunder (*secondary layer*) sebanyak 6 kali secara berulang-ulang. Lumpur sekunder (*secondary slurry*) terdiri dari campuran tepung kulit (*mullite flour*), *colloidal silica*, *defoamer* (0.3% berat) dan *surface active agent* (0.1% berat) dengan kekentalan 10 detik yang juga mengacu pada Gambar 1.

Setelah cetakan keramik kering dan cukup kuat, pola lilin dikeluarkan dari cetakan keramik menggunakan burner gas. Cetakan keramik yang sudah bersih dari lilin siap untuk dituang dengan logam cair. Sebelum cetakan keramik dituang dengan logam cair, cetakan keramik dipanaskan terlebih dahulu menggunakan tungku pemanas hingga mencapai suhu 900°C dan suhu ditahan selama 30 menit, dengan tujuan untuk menseragamkan panas pada seluruh cetakan keramik. Dengan pemanasan cetakan keramik akan mengurangi perbedaan suhu antara logam cair dan cetakan keramik, sehingga logam cair tidak cepat membeku dan mudah memasuki rongga cetakan yang sempit. Selain itu pemanasan cetakan keramik dapat berfungsi untuk membersihkan sisa-sisa lilin yang masih menempel di dalam rongga cetakan. Logam cair yang digunakan adalah baja karbon rendah dan

menggunakan suhu penuangan sebesar 1550°C. Setelah logam cair membeku, lalu cetakan keramik dibongkar untuk mengeluarkan keseluruhan hasil cor. Gambar 2 memperlihatkan diagram alir dari penelitian ini.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

Produk cor yang dibuat adalah *rocker arm* sebanyak 10 sampel untuk setiap cetakan. Dibuat sebanyak 2 cetakan untuk setiap variabel lapisan primer dari penelitian ini. Produk cor yang dihasilkan dianalisis secara visual untuk melihat cacat sinter yang terjadi. Permukaan produk cor juga diuji derajat kekasarannya menggunakan mesin uji kekasaran (*roughness testing machine*) merk Kosaka dengan diameter tip sebesar 2 µm dan kecepatan putar sebesar 0,5 mm/s. Untuk melihat sifat fisik tepung zirkon dilakukan pengujian distribusi butir tepung zirkon menggunakan *mastersizer machine* merk *malvern*. Sedangkan untuk melihat sifat fisik pasir zirkon dilakukan pengujian distribusi butir pasir zirkon menggunakan pengayak skala laboratorium (*laboratory sieve*) type PSA dan analisis struktur makro menggunakan mikroskop optik merk *Meiji Techno*. Untuk melihat komposisi kimia tepung zirkon dan pasir

zirkon dilakukan uji *X Ray Fluoresance* (XRF) yang menggunakan mesin XRF merk *thermo*.

Gambar 3 memperlihatkan keseluruhan hasil cor yang terdiri dari cawan tuang, saluran pengalir, saluran masuk dan produk cor "rocker arm". Gambar 4 memperlihatkan produk cor "rocker arm".



Gambar 3. Keseluruhan hasil cor yang terdiri dari cawan tuang, saluran pengalir, saluran masuk, dan produk cor "rocker arm".



Gambar 4. Sampel *rocker arm*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3 dan Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian komposisi kimia dari tepung zirkon dan pasir zirkon menggunakan uji *X Ray Fluoresance*. Dari hasil pengujian komposisi kimia memperlihatkan bahwa secara umum tepung zirkon 1 dan tepung zirkon 2 memiliki komposisi kimia yang hampir serupa, selain kadar molibden (Mo)-nya. Tepung zirkon 1 memiliki kandungan Mo sebesar 0.8%, sedangkan tepung zirkon 2 tidak memiliki kandungan Mo.

Komposisi kimia pasir zirkon a dan c relatif sama, sedangkan pasir zirkon b

sedikit berbeda. Pasir zirkon b memiliki kadar zirkon lebih rendah dan memiliki kadar Mo lebih tinggi. Sifat fisik molybdenum (Mo) adalah unik karena memiliki ketahanan panas yang tinggi (temperatur lebur 2623°C) yang mana lebih tinggi 1000° dari baja, dan banyak digunakan sebagai pemuat untuk baja tahan panas (*heat resistant steel*) (Molybdenum – Minerals and Uses . www.mineralprospector.net).

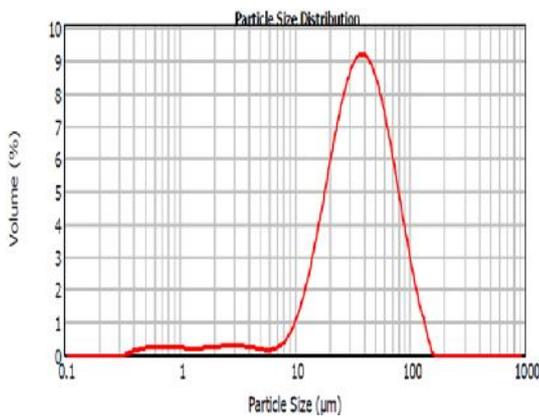
Tabel 3. Komposisi kimia tepung zirkon (% berat)

Unsur	Tipe tepung zirkon	
	1	2
Zr	47.67	47.75
Si	14.41	14.91
Hf	1.17	1.20
Mo	0.81	-
Ce	0.35	0.20
Al	0.15	0.47
Ti	0.12	0.09
Nd	0.16	0.10

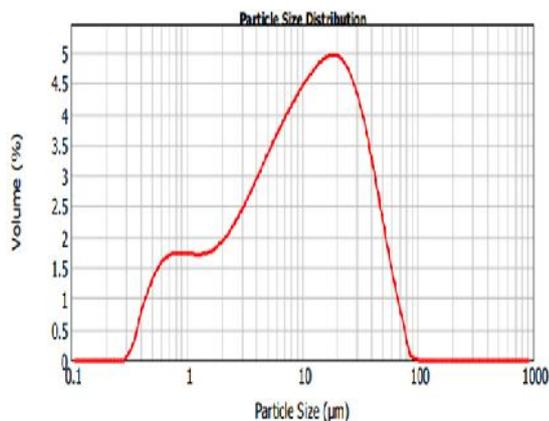
Tabel 4. Komposisi kimia pasir zirkon (% berat)

Unsur	Tipe pasir zirkon		
	a	b	c
Zr	47.54	45.91	47.77
Si	14.58	14.40	14.71
Al	0.95	0.90	0.39
Hf	1.49	1.67	1.41
Mo	0.69	1.11	0.36
Ce	0.26	0.33	0.23
Ti	0.09	0.35	0.080
Nd	0.13	0.16	0.11

Gambar 5 dan Gambar 6 memperlihatkan kurva hubungan antara ukuran partikel tepung zirkon (μm) dengan persentase volumenya, masing-masing untuk tepung zirkon tipe 1 dan 2. Tepung zirkon tipe 2 adalah tepung zirkon yang memiliki komposisi kimia yang berbeda dengan tepung zirkon tipe 1 (tidak memiliki kandungan Mo) dan mengalami proses lanjut untuk memperbaiki sifat fisiknya. Perbaikan sifat fisik tepung zirkon dilakukan dengan memilah-milah ukuran tepung zirkon menggunakan ayakan sehingga diperoleh tepung zirkon dengan ukuran dan distribusi butir tertentu.



Gambar 5. Kurva hubungan antara ukuran partikel terhadap persentase dari volume keseluruhan untuk tepung zirkon tipe 1



Gambar 6. Kurva hubungan antara ukuran partikel terhadap persentase dari volume keseluruhan untuk tepung zirkon tipe 2

Dari Gambar 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa distribusi partikel tepung zirkon 2 lebih sempit (0,3 µm hingga 100 µm) dibandingkan tepung zirkon 1 (0,3 µm hingga 160 µm).

Terlihat dengan jelas pula bahwa tepung zirkon 2 memiliki distribusi yang lebih merata, yaitu perbedaan jumlah antara partikel halus dan kasar yang tidak besar, dibandingkan tepung zirkon 1. Tepung zirkon 1 memiliki jumlah partikel halus (di bawah 7 µm) yang sedikit yaitu sekitar 0,4 %, dibandingkan jumlah partikel yang kasar (diatas 7 µm) yaitu sekitar 99,6%. Sedangkan pada tepung zirkon 2 memiliki partikel halus (di bawah 7 µm) dengan jumlah yang lebih besar sekitar 6 %, sedangkan partikel kasar (diatas 7 µm) memiliki jumlah sekitar 94%.

Dari Gambar 5 dan Gambar 6 juga terlihat bahwa tepung zirkon 1 lebih kasar dibandingkan dengan tepung tepung zirkon 2, dimana pada tepung zirkon 1 partikel

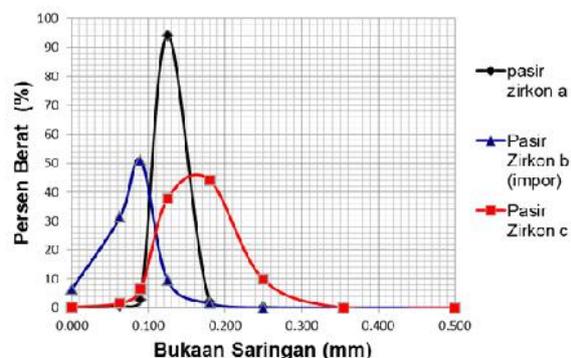
dengan ukuran 40 µm memiliki volume sekitar 9,2 %, sedangkan pada tepung zirkon 2 partikel dengan ukuran 20 µm memiliki volume sebanyak 5 %.

Gambar 7 memperlihatkan kurva distribusi pasir zirkon untuk pasir tipe a, b dan c. Pasir zirkon tipe a dan c adalah pasir zirkon lokal. Pasir zirkon tipe c adalah pasir zirkon tipe a yang sudah mengalami proses lanjut untuk memperbaiki sifat fisiknya. Sedangkan pasir zirkon tipe b adalah pasir zirkon impor yang sudah banyak dipakai oleh industri pengecoran di dalam negeri. Lapisan primer 3 dan 4 memadukan pasir zirkon impor dengan tepung zirkon lokal.

Dari Gambar 7 dapat disimpulkan bahwa distribusi pasir zirkon tipe c adalah yang terluas (rentang distribusi antara 0,00 mm hingga 0,35 mm) dengan sebaran distribusi yang paling merata. Rentang distribusi pasir zirkon tipe a dan tipe c tidak terlampaui berbeda, yaitu masing-masing adalah 0,09 mm hingga 0,18 µm dan 0,00 mm hingga 0,25 mm.

Terlihat dengan jelas dari Gambar 7 bahwa pasir zirkon tipe c memiliki distribusi yang paling merata dibandingkan tipe a atau tipe b.

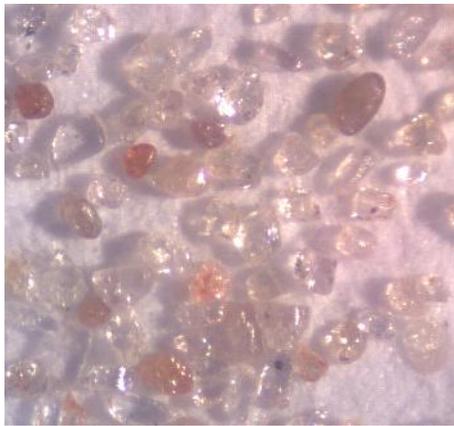
Pasir zirkon tipe c didominasi oleh pasir dengan ukuran yang besar, yaitu antara 0,12 hingga 0.2 mm. Untuk pasir zirkon tipe b didominasi oleh pasir dengan ukuran butir yang kecil, yaitu antara 0,07 hingga 0.1 mm. Sedangkan pada pasir zirkon tipe a didominasi oleh pasir dengan besar butir menengah sekitar 0.12 hingga 0,13 mm, serta memiliki rentang distribusi yang sangat sempit.



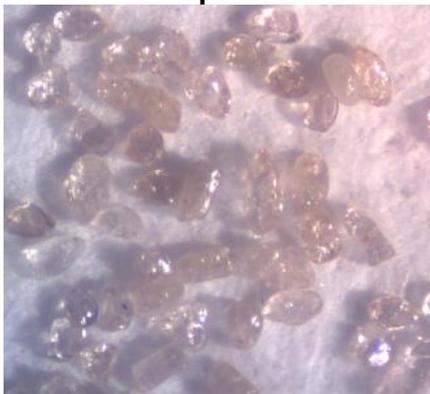
Gambar 7. Kurva distribusi pasir untuk pasir tipe a, b dan c.

Gambar 8 memperlihatkan gambar struktur makro dari tiga jenis tipe pasir.

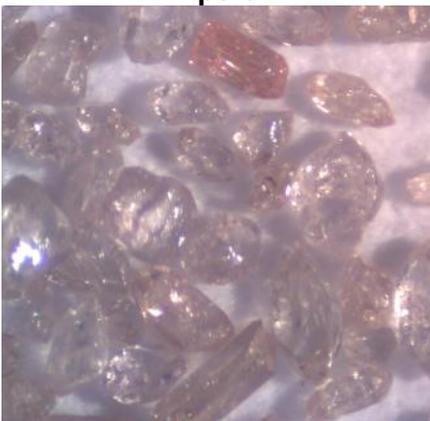
Terlihat bahwa bentuk ketiga pasir hampir mirip, yaitu *angular* (tidak beraturan / sedikit bersudut). Terlihat juga dari gambar struktur ini bahwa pasir tipe c lebih kasar dibandingkan kedua tipe yang lain.



tipe a



tipe b



tipe c

Gambar 8. Bentuk dari ketiga tipe pasir hasil dari analisa menggunakan mikroskop optik merk *meiji techno*, perbesaran 45 x

Tabel 5 berikut ini memperlihatkan persentase cacat penetrasi logam yang terjadi pada sampel produk *rocker arm* hasil dari penggunaan 5 lapisan primer yang berbeda untuk cetakan keramik. Gambar 9

berikut memperlihatkan cacat penetrasi logam yang terjadi pada produk *rocker arm*.

Tabel 5. Hasil pengamatan visual cacat penetrasi logam

Jenis Lapisan Primer	Metoda Pembuatan Lapisan Primer	Persentase Cacat Sinter
1	Pencelupan dengan lumpur primer 1, lalu ditaburi dengan pasir zirkon a	20 % (4 cacat dari 20 sampel)
2	Pencelupan dengan lumpur primer 1, setelah kering dicelup dengan lumpur primer 1 kembali, lalu ditaburi dengan pasir zirkon a	5 % (1 cacat dari 20 sampel)
3	Pencelupan dengan lumpur primer 1, lalu ditaburi dengan pasir zirkon b	15 % (3 cacat dari 20 sampel)
4	Pencelupan dengan lumpur primer 1, setelah kering dicelup dengan lumpur primer 1 kembali, lalu ditaburi dengan pasir zirkon b	0 % (tidak ada cacat)
5	Pencelupan dengan lumpur primer 2, lalu ditaburi dengan pasir zirkon c	0 % (tidak ada cacat)



Gambar 9. Cacat penetrasi logam pada *rocker arm*

Dari analisis permukaan produk *rocker arm* dapat disimpulkan bahwa penggunaan lapisan primer 1; yang memakai tepung zirkon no 1 (MF-506) dan ditaburi pasir zirkon a (MF-8012), serta penggunaan lapisan primer 3; yang memakai tepung zirkon no 1 (MF-506) dan ditaburi pasir zirkon b (Iwatani/impur), belum memperlihatkan hasil yang baik. Pada lapisan primer 1 terjadi cacat sinter sebesar 20%, sedangkan pada lapisan primer 3 terjadi cacat sinter sebesar 15%.

Modifikasi proses pelapisan untuk lapisan primer yang menggunakan dua lapisan, yaitu lapisan primer pertama berupa lumpur primer dan lapisan primer kedua berupa lumpur primer yang ditaburi pasir zirkon, dapat menghasilkan produk cor yang lebih baik. Pada lapisan primer 2 terjadi pengurangan persentase cacat penetrasi logam menjadi hanya 5 %, sedangkan pada lapisan primer 4 tidak terjadi cacat penetrasi logam. Hal ini memperlihatkan bahwa modifikasi proses menggunakan berbagai jenis tepung dan pasir zirkon dapat menurunkan, bahkan menghilangkan terjadinya cacat penetrasi logam.

Pada lapisan primer 5; yang menggunakan tepung zirkon no. 2 (MC-301) dan pasir zirkon tipe c (ZrO₂-655) tanpa modifikasi proses pelapisan untuk lapisan primer dengan menggunakan 2 lapisan primer, dapat menghilangkan terjadinya cacat penetrasi logam.

Penggunaan tepung zirkon 2 dan penggunaan pasir zirkon c yang masing-masing memiliki distribusi yang lebih merata menyebabkan ketahanan panas lapisan primer 5 menjadi lebih tinggi. Ketahanan panas yang tinggi ini disebabkan densitas (kerapatan) dari lapisan primer yang tinggi, akibatnya butiran tepung (pasir) zirkon yang halus akan mengisi rongga-rongga yang terbentuk dari jaringan batas butir tepung (pasir) yang lebih kasar. Mekanisme tersebut terjadi terus secara bertahap, sesuai dengan sisa butir halus yang masih ada. Semakin merata sebaran distribusi butir, maka semakin tinggi densitas lapisan primer yang dapat terbentuk, yang berakibat semakin tahannya lapisan primer menahan panas logam cair dan dapat mencegah terjadinya cacat penetrasi logam.

Terlihat bahwa kandungan Mo pada tepung zirkon tipe 1 maupun pada pasir zirkon tipe b yang lebih tinggi tidak memperlihatkan pengaruh terhadap peningkatan ketahanan panas lapisan primer. Juga rentang distribusi maupun ukuran butir tidak mempengaruhi ketahanan panas lapisan primer.

Tabel 6 berikut ini memperlihatkan nilai kekasaran permukaan produk cor dengan pemakaian lima jenis lapisan primer yang berbeda.

Tabel 6. Nilai kekasaran produk cor dengan pemakaian lima jenis lapisan primer yang berbeda

Jenis Lapisan Primer	Nilai Kekasaran (µm)
1	5,6
2	5,6
3	4,9
4	4,9
5	4,9

Dari Tabel 6 terlihat bahwa lapisan primer 1 dan 2 yang terdiri dari tepung zirkon 1 yang kasar (partikel berukuran 40 µm sebanyak 9,2 % volume) dan pasir zirkon tipe a yang relatif kasar pula (partikel berukuran 0,125 mm mendominasi 94% berat) akan menghasilkan permukaan produk cor yang kasar. Pada lapisan primer 3 dan 4, yang menggunakan pasir zirkon tipe b yang lebih halus (partikel berukuran 0,09 mm mendominasi 52 % berat), ternyata dapat menurunkan nilai kekasaran permukaan. Sedangkan pada lapisan primer 5, meskipun menggunakan pasir zirkon tipe c yang kasar (partikel berukuran 0.16 mm mendominasi 46% berat), tetapi bila dipadukan dengan penggunaan tepung zirkon tipe 2 yang halus (partikel berukuran 20 µm sebanyak 5 % volume), ternyata dapat menurunkan kekasaran permukaan produk cor.

Adanya sedikit perbedaan kadar molybdenum (Mo) dari tepung dan pasir zirkon tidak memperlihatkan adanya pengaruh pada kemampuan menahan panas lapisan primer cetakan keramik untuk mencegah terjadinya cacat penetrasi logam.

Penggunaan pasir zirkon yang kasar akan menghasilkan permukaan produk cor yang kasar. Sebaliknya penggunaan pasir zirkon yang halus akan dapat menghasilkan permukaan produk cor yang halus pula. Tetapi penggunaan pasir zirkon yang kasar dengan memadukan tepung zirkon yang halus akan dapat menghasilkan permukaan produk cor yang halus. Rongga-rongga diantara pasir zirkon yang berdekatan pada permukaan lapisan primer akan terisi oleh tepung zirkon yang halus, sehingga menghasilkan permukaan cetakan keramik yang halus dan permukaan produk cor yang halus pula. Mekanisme ini juga akan meningkatkan densitas permukaan lapisan primer 5 sehingga meningkatkan ketahanan

panas cetakan keramik dan mencegah cacat penetrasi logam.

KESIMPULAN

Kombinasi penggunaan tepung zirkon lokal (MF-506) dan pasir zirkon impor (Iwatani/Australia) belum dapat menghasilkan produk cor yang bebas cacat penetrasi logam. Modifikasi lapisan primer, yaitu penggunaan lumpur primer sebagai lapisan primer pertama dan lumpur primer yang ditaburi pasir zirkon sebagai lapisan primer kedua, dapat menurunkan cacat penetrasi logam. Dengan penggunaan produk lokal tepung zirkon MC-301 dan pasir zirkon ZrO₂-655 yang merupakan hasil perbaikan tepung zirkon MF-506 dan pasir zirkon MF-8012, yang keduanya memiliki distribusi ukuran partikel yang merata dapat menghilangkan cacat penetrasi logam. Meskipun pasir zirkon ZrO₂-655 lebih kasar, tetapi dengan kombinasi pemakaian tepung zirkon MC-301 yang halus, dapat menghasilkan lapisan primer cetakan keramik yang halus sehingga produk cor memiliki permukaan yang halus pula.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Monokem Surya sebagai mitra kerjasama penelitian, yang telah memberikan bahan-bahan penelitian dan mengizinkan penggunaan fasilitas pengujiannya.

DAFTAR PUSTAKA

- American Foundrymen's society. 1978. Particle Size Distribution of Foundry Sand Mixtures, in Mold and Core Test handbook: 4-1 to 4-14.
- Batwinder Singh Sidhu, Pradeep Kumar. 2008. Effect of Slurry Composition on Plate Weight in Ceramic Shell Investment Casting. *Journal of Materials Engineering and Performance* 17: 489.
- B.E. Brooks, C. Beckermann, V.L. Richards, 2007. Prediction of Burn-on and Mould Penetration in Steel Casting Using Simulation. *International Journal of cast Metals Research* 20(4): 177-178.

- J.M.Svoboda and G.H.Gieger. 1969. *AFS Trans* 77: 281-288.
- Metal Handbooks volume 15. 1988. *Casting*. USA. ASM International Handbook Committee.
- M.N. Achenyuk, S.E. Porosova. 2012. Obtaining Zircon-Based Ceramic Material. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals* 53 (1): 85-90.
- Peraturan Menteri Energi dan Dan Sumber Daya Mineral Nomor 7 tahun 2012.
- R.L. Saha, T.K. Nandy. 1990. On the Evaluation of Stability of Rare Earth Oxides as Face Coats for Investment Casting of Titanium. *Metallurgical Transactions B* 2(3): 559-566.
- Sri Bimo Pratomo. 2014. Potency of Rare Earth Elements, Titanium and Molybdenum in Indonesia. Dalam: *Prosiding the 5th International Workshop on Industrial Technology of Rare Metals & the 5th SME Forum on Industrial Development of Rare Metals*. Incheon-South Korea. Korea Institute of Rare Metals: 67-80.
- Sri Bimo Pratomo. 2000. Study on Steam Turbine Blade Making by Investment Casting Technology. Dalam: *Laporan MIDC-NIRIN Joint Research. Nagoya-Japan*. National Industrial Research Institute of Nagoya (NIRIN): 45.
- The Atlas Foundry Company. 2006. USA. Glossary of Foundry Term.
- Undang-Undang Minerba Nomor 4 tahun 2009.
- W.M. Carty, H. Lee, E. Reeves. 2009. The Development of Improved Ceramic Shell for Investment Casting Application. *AFS Transactions*: 403.
- Zircon Industry Association Ltd. www.Zircon-Association.org. (17 Desember 2014).

