

PERANCANGAN DAN PENGUJIAN MESIN *CENTRIFUGAL CASTING* UNTUK PEMBUATAN KERAMIK TUBULAR

Rahmat Iman Mainil

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Riau
Kampus Binawidya Jl. HR. Subrantas KM.12,5 Panam, Pekanbaru 28293

Email: r_iman22@yahoo.com

Abstract

Centrifugal Casting Machine is a tool that is used to form the ceramic suspension compacted in the mold by utilizing centrifugal force. Design and manufacture of centrifugal casting machines have been successful. Planning theory, analysis and design of appropriate calculation. Mold are mounted on a rotating mold holder with a speed of 2000-3000 rpm. This machine can be used to produce ceramic products using a small tubular shaped. Ceramic produced in this study using a centrifugal casting machine has 56.8 flexural strength (kg/cm²), the shrinkage of 1.48%, water absorption 20.75%, porosity 29.52%. SEM showed tubular ceramic possessed uniform density and uniform pore size distribution.

Key Words : Centrifugal Casting, Solidification , Support membrane

1. Pendahuluan

Keramik tubular berpori untuk penggunaan *support membrane* setidaknya harus memenuhi persyaratan tertentu, seperti kehalusan permukaan yang tinggi, porositas yang besar, ukuran dan distribusi pori yang sempit, kuat mekanis tinggi, dan kestabilan kimia yang baik. Teknik pembuatan keramik secara konvensional seperti cetak cor, cetak tekan, dan cetak ekstruksi, memiliki kelemahan dalam pembentukan keramik tubular dengan kualitas yang baik.

Pengecoran sentrifugal (*centrifugal casting*) merupakan teknik pengecoran dengan cara menuangkan suspensi keramik atau cairan logam kedalam cetakan yang berputar. Pengaruh gaya sentrifugal akan memadatkan bahan cor dan menghaluskannya serta menghasilkan produk yang bersifat unggul.

Pembuatan keramik menggunakan teknik konsolidasi partikel dengan cara *centrifugal casting* berguna untuk membentuk produk keramik *membrane* dan *support membrane*, yang memiliki bentuk tubular, dengan kualitas produk yang baik yang sulit dihasilkan dengan cara konvensional. Produk yang dihasilkan dengan

teknik ini memiliki tingkat kehalusan permukaan dan tingkat kebundaran yang baik serta ukuran dan distribusi ukuran pori yang sempit.

Oleh karena itu dibutuhkan sebuah mesin yang dapat digunakan untuk menghasilkan produk keramik tubular dengan kualitas tinggi tersebut.

Teknik pengecoran sentrifugal memanfaatkan gaya sentrifugal yang ditimbulkan oleh putaran motor penggerak, menyebabkan masa cor melekat dan memadat pada dinding cetakan.

Proses pengecoran dapat dilakukan secara vertikal maupun horizontal tanpa menggunakan inti (*core*). Sesuai dengan bentuk cetakannya, maka produk cor yang dihasilkan juga berbentuk silindris atau pipa dengan diameter, tebal dinding dan panjang tertentu. Produk cor yang dihasilkan dengan metode ini mempunyai arah pembekuan yang terarah (*directional solidification*) dari bagian diameter luar menuju ke diameter dalam, sehingga menghasilkan produk cor yang terbebas dari cacat pengecoran terutama *shrinkage* yang paling sering dijumpai pada proses pembentukan dengan teknik lainnya, (Tim Proyek BPPT, 2010).

Bentuk tubular diperoleh dari hasil pengendapan partikel padat dalam suspensi di

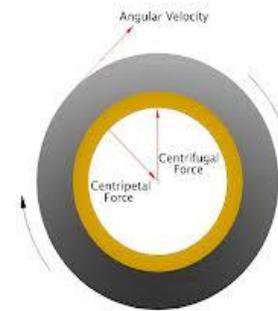
bawah kekuatan gaya sentrifugal. Semakin tinggi laju tangensial semakin besar gaya sentrifugal yang diterima oleh partikel-partikel padat, sementara pengaruh gaya gravitasi terhadap partikel padat menjadi tidak berarti ($\omega^2 r > g$). Orientasi dari butiran yang membentuk endapan karena gaya sentrifugal dipengaruhi oleh besarnya bilangan takberdimensi (*Reynold number*) yang dinyatakan oleh persamaan berikut :

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu} \quad (1)$$

dengan ρ densitas partikel padat, V laju air, L panjang partikel dan μ viskositas suspensi. Untuk partikel bentuk pelat, $Re < 1$ aliran bersifat mantap, partikel tidak mengalami perubahan orientasi terhadap aliran hingga pada pengendapan. $1 < Re < 100$ menyebabkan partikel mengalami perubahan orientasi terhadap arah aliran tegak lurus penampang dan partikel tersusun dengan drag terkecil ketika mencapai dinding. $Re > 100$ menghasilkan aliran berpusar yang menyebabkan partikel bergerak dengan bergoyang-goyang dan pada $Re > 500$ partikel mengalami gerakan berpilin, (G.A Steinlage dkk, 1996).

Gambar 1. menunjukkan bagaimana terbentuknya endapan partikel-partikel keramik pada dinding oleh akibat gaya sentrifugal. Apabila endapan adalah bahan sejenis, fraksi partikel paling berat (jari-jari besar) akan berada pada permukaan terluar sementara fraksi partikel paling ringan (jari-jari kecil) berada pada permukaan paling dalam.

Perubahan ukuran butir dari permukaan paling dalam ke permukaan terluar berlangsung secara gradual sehingga batas antar lapisan tidak teramati. Pembentukan batas antar lapisan menyebabkan endapan keramik rentan terhadap pengelupasan pada batas lapisan tersebut. Perubahan ukuran butir yang gradual secara radial menghasilkan pori asimetri dengan perubahan diameter secara gradual. Bentuk pori asimetris akan memperkecil beda tekanan lintas membran (*transmembran*). Perubahan secara gradual juga mampu meningkatkan kekuatan mekanik support membrane dan membrane yang melapisi.



Gambar 1. Pengaruh gaya sentrifugal pada suspensi
(www.centrifugalcastingmachine.com)

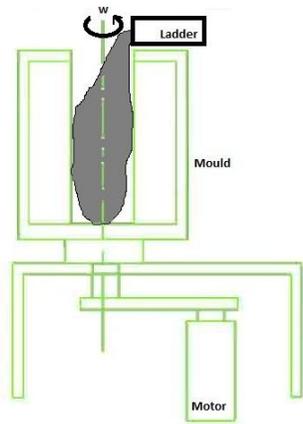
Tingkat kebulatan dihasilkan dengan cor sentrifugal sangat baik disebabkan oleh besarnya gaya dan arah yang diterima partikel adalah tertentu dan besarnya sama untuk jarak dari sumbu aksial silinder. Hal ini berbeda dengan teknik ekstruksi dimana gaya diterima partikel sejajar sumbu aksial lebih dominan dibanding gaya arah radial.

Penerapan efek gaya sentrifugal untuk pembentukan keramik support tubuler, dirancang dengan rangkaian susunan alat sebagaimana ditunjukkan oleh Gambar 2. Motor dengan kecepatan angular rpm menggerakkan tabung yang akan diisi dengan bahan cor. Kecepatan angular dari tabung dapat ditentukan dengan persamaan sbb :

$$w_n r^2 = w_t r_t^2 \quad (2)$$

dengan w_n dan w_t laju angular motor dan tabung, r_t dan r adalah jari-jari roda tabung dan jari-jari roda motor.

Dengan mengendalikan laju angular, orientasi dari butiran dapat dikendalikan sedemikian rupa sehingga dapat dihasilkan struktur produk yang dikehendaki



Gambar 2. Skema alat cor sentrifugal

Evaluasi terhadap sistem akan dilakukan untuk peralatan dalam keadaan kosong dan keadaan isi. Dalam keadaan kosong akan diamati mengenai laju minimal, laju maksimal, kemudahan operasional, stabilitas operasional, keamanan operasional, dll. Sementara keadaan isi akan diamati untuk karakteristik produknya terhadap parameter-parameter operasional.

Modifikasi akan dilakukan sesuai kebutuhan dengan tetap mempertimbangkan spesifikasi yang diinginkan.

Pemilihan masa cor keramik

Sistem suspensi berbasis air dipilih didalam penelitian ini karena kemudahan, kemurahan dan keramahan terhadap lingkungan. Dispersan polielektrolit ditambahkan untuk menghasilkan suspensi stabil pada tingkat beban padatan yang setinggi-tingginya namun tetap memberikan kemampuan mengalir (*fluiditas*) tinggi.

Sistem suspensi yang memiliki tingkat beban padatan tinggi akan memberikan susut mentah/bakar yang rendah sehingga memungkinkan *near-net shaped* didekati bahkan dicapai. Alumina berupa tepung dengan kehalusan butir mendekati koloid (0.5 – 1.5 mikron) diperlukan untuk mendapatkan suspensi stabil, (Hernawan, 2009).

Sistem campuran monomer dan *cross-linker* yang umum digunakan adalah *methacrylamide* (MAM)-*Methylenebisacrylamide* (MBAM) atau *methacrylamide* (MAM) *Polyethylene glycol monomethacrylate* (PEGMA). MAM dan MBAM oleh diproduksi Aldrich Chemical Co., USA sedangkan PEGMA diproduksi oleh Polyscience,

Inc., USA. *Monomer* dan *cross-linker* dengan perbandingan tertentu dilarutkan dalam air dan selanjutnya ditambahkan kedalamnya secara perlahan tepung alumina, (Hernawan, 2009).

Dispersan ditambahkan kedalam sistem campuran bubuk di atas untuk menghasilkan suspensi stabil. Berbagai merk dapat ditemukan dipasaran seperti diantaranya Darvan C, Darvan 821A, Darvan 7 (produk R.T. Vanderbilt Co. USA), Daxad 30, Daxad 31, Daxad 32, Daxad 34 (W.R. Grace and Co., USA.), dan Dolapix PC 75 (produk Zschimmer and Schwarz, Germany), (Hernawan, 2009).

Komposisi suspensi didasarkan pada beberapa literatur baik yang berupa karya ilmiah maupun patent terbuka. Beban padatan dari suspensi dapat mencapai 60% volume yang setara dengan 80% berat dengan penambahan dispersan yang sesuai. Kinerja dispersan seperti diamonium hidrogen sitrat akan dibandingkan dengan salah satu dispersan di atas, Darvan C atau Darvan 821A. Percobaan sebelumnya Darvan yang ditambahkan untuk mendapatkan suspensi stabil pada beban padatan maksimum adalah $\pm 1\%$ dari berat tepung alumina, (Hernawan, 2009).

Kegiatan penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan alat yang aman, mudah, efisien dan efektif untuk dioperasikan serta dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan *support membran* dengan kualitas sangat tinggi.

2. Metode Penelitian

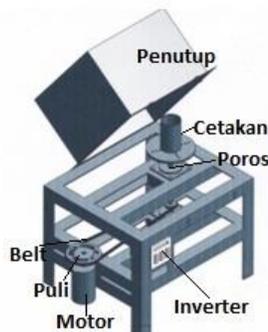
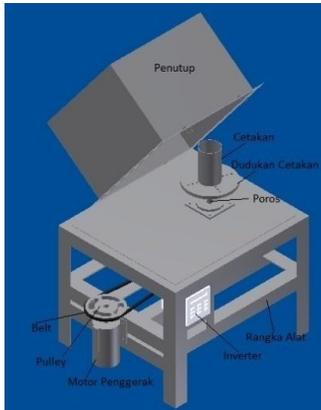
2.1. Rancangan mesin *centrifugal casting*

Masa cor dituang kedalam cetakan, kemudian cetakan diputar dengan kecepatan tinggi. Gaya sentrifugal yang bekerja menyebabkan masa cor terlempar ke dinding cetakan, kemudian partikel-partikel padat akan mengendap dan memadat mengikuti bentuk cetakan (silinder) tersebut (tubular), (Abdelhamid, Harabi and Ferhat Bouzerara. 2011).

Putaran mesin *centrifugal casting* diperoleh dari putaran motor dengan spesifikasi motor listrik 3 Φ , $\frac{1}{4}$ Hp, putaran 1440 rpm, arus 0,3 A, dan tegangan 220 V. Putaran motor kemudian ditransmisikan menggunakan sistem transmisi pulley dan belt ke poros. Putaran poros yang didapat digunakan untuk memutar kedudukan cetakan serta cetakan yang ditopang oleh poros tersebut.

Untuk mengatur putaran motor digunakan inverter E6581090 merk Toshiba. Pengaturan putaran motor dapat dilakukan secara gradual (*gradually speed control*).

Alat ini dilengkapi program untuk mengatur torsi, arus, tegangan, dan display (*digital*). Untuk keperluan pembuatan keramik dibuat display outputnya berupa putaran, arus, dan tegangan input listrik.



Gambar 3. Rancangan mesin *centrifugal casting*

2.2 Perancangan mesin *centrifugal casting*

Dalam mesin *centrifugal casting* semua komponen-komponen harus dirancang dengan baik agar mesin dapat menghasilkan performa yang efisien (seperti tampak dalam Gambar 3). Poros mesin harus dapat menahan beban akibat berat cetakan dan efek gaya sentrifugal selama proses casting berlangsung.

Banyaknya gaya tak seimbang yang bekerja selama proses casting berlangsung menuntut desain poros, bearing, sistem transmisi harus presisi agar produk cor yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik.

Mesin *centrifugal casting* yang akan dirancang membutuhkan putaran yang tinggi dalam pengoperasiannya, yaitu antara 3000-4000 rpm. Untuk itu dibutuhkan sistem transmisi yang dapat mentransmisikan daya dalam putaran tinggi, serta dapat meminimalisir getaran yang akan terjadi. Sistem transmisi yang direncanakan dalam penelitian ini adalah sistem transmisi pulley dan belt.

1. Perhitungan diameter puli yang digerakkan

Diameter puli yang digerakkan dihitung menggunakan persamaan :

Ditentukan diameter puli yang digerakkan 150 mm

$$d_2 = \frac{N_1 \times d_1}{N_2} \quad (3)$$

Dimana :

N_1 = Kecepatan puli penggerak (rpm)

N_2 = Kecepatan puli yang digerakkan (rpm)

d_1 = Diameter puli penggerak (mm)

d_2 = Diameter puli yang digerakkan (mm)

2. Perhitungan kecepatan belt

Kecepatan belt dihitung menggunakan persamaan :

$$Kb = \frac{\pi \times d_1 \times N_2}{1000} \quad (4)$$

Dimana :

Kb = Kecepatan Belt

3. Perhitungan panjang belt

Panjang belt dihitung menggunakan persamaan :

$$L = 2c + \frac{\pi}{2} (d_2 + d_1) + \frac{(d_2 - d_1)^2}{4c} \quad (5)$$

Dimana :

L = Panjang luar belt efektif (mm)

C = Jarak antara kedua pulley (mm)

4. Perhitungan kecepatan angular puli yang digerakkan

Kecepatan angular dihitung menggunakan persamaan :

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times N_2}{60} \quad (6)$$

Dimana :

ω = Kecepatan angular (rads^{-1})

5. Perhitungan gaya sentrifugal pada mesin

Gaya sentrifugal dihitung menggunakan persamaan:

$$F = m \times r \times \omega^2 \quad (7)$$

Dimana :

F = Gaya sentrifugal (N)

m = Massa total cetakan dan dudukan (kg)

r = radius cetakan (mm)

ω = Kecepatan angular cetakan dan dudukan (rpm).

6. Perhitungan torsi yang dihasilkan mesin
Torsi dihitung menggunakan persamaan :

$$T = F \times r d \quad (8)$$

Dimana :

T= Torsi (Nm)

Rd= radius of rotating disc (m)

7. Perhitungan daya yang dibutuhkan mesin
Daya yang dibutuhkan mesin dihitung menggunakan persamaan :

$$P = \frac{2 \times \pi \times N_2 \times T}{60} \quad (9)$$

8. Perhitungan diameter poros

Diameter poros yang dibutuhkan dihitung menggunakan persamaan:

$$M_b = 0,3855 \quad M_t = 0,057 \quad K_t = 1,5 \quad K_b = 2,0$$
$$d^3 = \frac{16}{\pi T} \sqrt{(K_b M_b)^2 + (K_t T_t)^2} \quad (10)$$

2.2 Pengujian mesin *centrifugal casting*

Prosedur percobaan

1. Menyiapkan masa cor keramik untuk membuat benda uji .

Serbuk alumina kalsin sebagaimana diterima (*as received*) digiling di dalam potmill dengan perbandingan bola : alumina : air = 1 : 1 : 1. Waktu digunakan sebagai kendali terhadap ukuran dan distribusi dari tepung alumina. Ukuran butiran diharapkan adalah berukuran koloid. Pada penelitian ini penggilingan dilakukan dalam 2 variasi selama 6 dan 8 jam. Bubur alumina dari potmill dituang ke dalam ayakan 300 mesh. Hasil penyaringan selanjutnya diendapkan dan dipisah dari airnya. Bubur alumina pekat selanjutnya dikeringkan dalam oven, dan hasil pengeringan disiapkan untuk pembuatan suspensi alumina.

Tahap selanjutnya adalah mendapatkan suspensi stabil dari alumina pekat (*concentrated alumina*) dengan komposisi dengan fraksi 80% berat berat alumina dan 20% air yang memiliki kemampuan mengalir yang baik. Kemampuan mengalir yang ditunjukkan oleh viskositas yang rendah diatur dengan penambahan diamonium hidrogen sitrat (DHC) sebagai deflokulan.

Pengukuran viskositas dilakukan dengan viskotester dan diukur untuk berbagai penambahan asam diamonium sitrat. Penambahan DHC yang memberikan viskositas terendah dipertimbangkan sebagai komposisi patokan untuk pengerjaan pengembangan berikutnya. Monomer dan crosslinker (monomer dengan rantai panjang) ditambahkan ke dalam suspensi dan diaduk hingga homogen. Perbandingan antara monomer dan crosslinker bervariasi dalam kisaran 11 : 1. Sementara perbandingan antara monomer dengan alumina adalah 1:4

Larutan iniator amonium persulfat (APS) 90% berat dan katalisator Tetra-ethylene diamine (TEMED) 10% berat disiapkan, untuk kemudian serta diteteskan kedalam suspensi untuk berlangsungnya gelasi dari monomer dan crosslinker. Perubahan baik suhu, viskositas dan visual selama proses gelasi berlangsung diamati.

2. Memasukan masa cor kedalam cetakan yang sudah di cekam pada *chucks* mesin cor sentrifugal.
3. Hidupkan mesin, sehingga cetakan dan masa cor yang ada didalamnya ikut berputar, durasi dan kecepatan putar diatur sedemikian rupa hingga masa cor tersolidifikasi dengan sempurna.
4. Lakukan pengeringan, dan setelah cukup kering material cor yang sudah padat dikeluarkan dari cetakan.

3 Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil rancangan

Mesin *Centrifugal Casting* hasil rancangan telah berhasil dibuat dengan spesifikasi sebagai berikut, seperti tampak pada Gambar 4.:

1. Puli dengan ratio putaran (i) puli = 0,466 (3000rpm)
Dengan diameter puli penggerak :
Diameter luar (D) = 150 mm
Diameter dalam (d) = 25 mm
diameter puli yang digerakan :
Diameter luar (D) = 72 mm
Diameter dalam (d) = 25 mm
2. Untuk rangka dudukan motor listrik : besi siku 40 x 40 mm.
3. Besi plat t = 5mm, digunakan untuk *casing*/penutup.
4. Besi pipa $\varnothing=3/4''$, 1'', digunakan untuk cetakan.

5. Spesifikasi poros transmisi :
 Material poros = Baja ringan
 Diameter poros = 25 mm
 Panjang poros = 225 mm
6. Bearing = 2 buah.
 Diameter dalam (d) = 25 mm
 Diameter Luar (D) = 42 mm
7. Chucks mesin bubut, model K11-160; 1 buah.



Gambar 6. Hasil pengecoran setelah dikeringkan.

Gambar 7 adalah hasil pengecoran yang sudah dibakar pada temperature 1350°C, menggunakan tungku gas.



Gambar 4. Mesin *centrifugal casting* hasil rancangan.

3.2 Hasil percobaan dan pembahasan

Hasil pengecoran yang telah dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5 sampai dengan Gambar 7. Pada Gambar 5 adalah hasil pengecoran yang belum dikeluarkan dari cetaknya. Gambar 6 adalah hasil cetak dengan cor sentrifugal yang sudah dikeluarkan dari cetakan dan dikeringkan, namun masih mentah alias belum dibakar/*sintering*.



Gambar 7. Hasil pengecoran yang sudah dibakar pada 1350°C



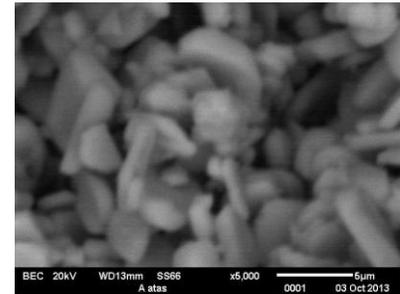
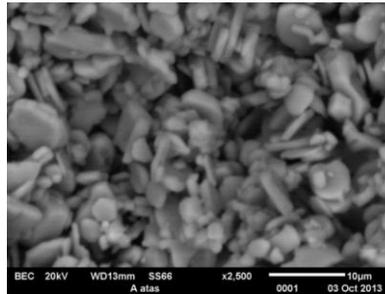
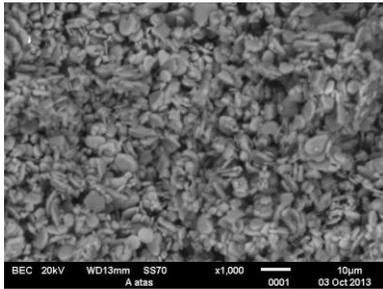
Gambar 5. Hasil pengecoran yang masih dalam cetakan.

Pengujian dilakukan terhadap komposisi masa cor yaitu antara lain uji kuat lentur, susut bakar, penyerapan air dan keporian.

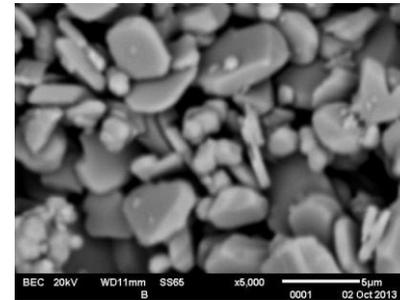
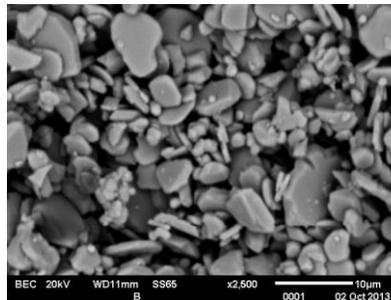
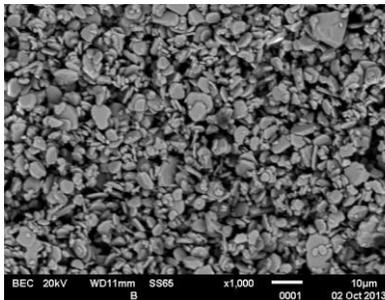
Dari data pengujian didapatkan hasil, seperti terlihat pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Data hasil pengujian

Jenis Uji	Hasil
Kuat Lentur (kg/cm ²)	58,68
Susut Bakar (%)	1,48
Penyerapan Air (%)	20,75
Keporian (%)	29,52



(a) Perbesaran 1000 x, 2500 x, 5000 x



(b) Perbesaran 1000 x, 2500 x, 5000 x

Gambar 8. Struktur mikro hasil uji SEM, (a) Hasil uji keramik bagian atas, (b) Hasil uji keramik bagian bawah

Dari Gambar 5 terlihat masa cor terbentuk dan menempel secara sempurna sesuai bentuk cetakan dan proses solidifikasi material cor dapat memadat secara sempurna.

Sedangkan pada Gambar 6 terlihat hasil cetak cor sentrifugal yang sudah dikeluarkan dari cetakan, terlihat terbentuk sempurna mengikuti bentuk cetakan, dan permukaan baik luar maupun dalamnya sangat halus. Begitupun pada Gambar 7, dimana keramik tubular yang sudah disintering pada 1350°C, terlihat bagus tidak ada retak dan pembengkokan. Gambar 8 adalah hasil uji SEM dari keramik tubular hasil pengecoran dengan mesin cor sentrifugal, sampel yang diambil gambarnya adalah dalam arah radial atau tebal dari keramik tubular. Dari hasil uji SEM pada Gambar 8 terlihat sebaran partikel terdistribusi secara homogen sepanjang arah radial. Untuk kode A adalah sampel uji yang diambil dari sisi bagian atas dan kode B adalah sisi bagian bawah dari keramik tubular. Pada gambar kedua sampel ini tidak terlihat perbedaan, ini berarti hasil pengecoran sentrifugal menghasilkan kepadatan yang merata, selain itu terlihat tidak ada retak dan

distribusi pori yang seragam, dengan ukuran pori 1µm.

4 Kesimpulan

1. Rancangan mesin *centrifugal casting* dihasilkan dengan komponen-komponen pendukungnya motor, belt, pulley, poros, dudukan cetakan, cetakan.
2. Kecepatan putar cetakan maksimum 3000 rpm, dan hasil coran dari alumina mempunyai kuat lentur = 58,68 kg/cm², Susut Bakar = 1,48%, Penyerapan air = 20,75% dan keporian 29,52 %.
3. Hasil rancangan Mesin Cor Sentrifugal ini mampu menghasilkan aliran masa cor keramik dengan proses *solidifikasi* yang searah sehingga hasil coran memiliki tingkat kepadatan yang optimal.

Daftar Acuan

Abdelhamid, Harabi and Ferhat Bouzerara. 2011. *Fabrication of Tubular Support from Low price Raw material, Using Both Centrifugal casting or Extrusion Methode.* Mentouri University. Algeria. 13: 253-274.

G.A Steinlage dkk. 1996. *Textured Ceramic tubes via centrifugal slip casting. Proceeding on texture material vol.2.* Purdue University. West Lafayette. 2 : 1045-1050.

Hernawan. 2009. *Teknik Pembentukan Maju Cor Gel untuk Fabrikasi Keramik Padat dengan bentuk kompleks.* Laporan Akhir. BBK. Bandung.

Tim Proyek BPPT. 2010. *Penerapan Teknologi Sentrifugal Untuk Pembentukan Bushing dan Komponen Bus.* Laporan Akhir Program Intensif Litbang. BPPT. Jakarta.

<http://www.centrifugalcastingmachine.com/what.html> (diakses tanggal 6 November 2014)

