

PENGARUH KECEPATAN PUTAR MESIN *CENTRIFUGAL CASTING* PADA PROSES PENGECORAN ALUMINIUM TERHADAP KEKERASAN DAN POROSITAS

Leo Rendiana Putra

S-1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: leoputra@mhs.unesa.ac.id

Mochamad Arif Irfa'i, S.Pd., M.T.,

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
e-mail: arifirfai@unesa.ac.id

Abstrak

Pada pembuatan pipa metode tradisional masih menggunakan proses *bending* dan pengelasan untuk membuat sebuah pipa dan pembuatan platnya menggunakan pengecoran tuang sehingga sering terjadinya porositas dan kekerasan yang menurun akibat dari pembekuan yang terlalu lama. Solusinya yaitu membuat pengecoran dengan metode *centrifugal casting* karena memiliki keunggulan proses pembekuan yang bisa diatur kecepatannya, dapat memproduksi pipa tanpa sambungan, dan Menghasilkan produk coran yang relatif bebas dari gas dan *porosity*. Proses pengecoran dilakukan dengan mengatur kecepatan putar motor menggunakan variasi kecepatan 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm dengan menggunakan aluminium paduan sebagai bahan utamanya selanjutnya dilebur dengan suhu 600°C hingga mencair dan dituangkan kedalam mesin *centrifugal casting*. Sebagai pendukung dilakukan uji kekerasan *Rockwell*, uji porositas, *uji Dye penetrant*, dan uji kebocoran. Hasil penelitian dari pengaruh variasi kecepatan putar 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm berturut-turut sebesar 27,4 HRB, 34,7 HRB, dan 62,7 HRB. Porositas pada variasi kecepatan putar 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm yaitu berturut-turut sebesar 4,3%, 3,4%, dan 2,1%. Pada pengujian *dye penetrant* dapat dilihat semakin cepat putaran mesin maka semakin sedikit porositas pada bagian diameter luar pipa. Pada pengujian kebocoran dengan variasi kecepatan putar 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm tidak ditemukan kebocoran pada pipa tersebut. Simpulan dari penelitian ini bahwa kecepatan putar mesin *centrifugal casting* mempengaruhi kekerasan dan porositas. Kecepatan putar mesin yang optimum untuk meningkatkan kekerasan terdapat pada kecepatan 1500 rpm dengan kekerasan sebesar 62,7 HRB dan kecepatan putar mesin yang optimum untuk meminimalisir porositas terdapat pada kecepatan 1500 rpm dengan porositas sebesar 2,1%. Saran pada saat pengecoran menggunakan pemanas untuk memanaskan cetakan agar cairan logam aluminium dapat membeku secara merata hingga ujung cetakan.

Kata kunci : *centrifugal casting*, Aluminium paduan, ASTM E 18

Abstract

In pipe making the traditional method still uses bending and welding processes to make pipes and plate making using cast casting so that it often uses porosity and increased increase from too long freezing. The solution is to make casting with a centrifugal casting method because it has the advantage of a freezing process that can regulate its speed, can produce pipes without connection, and produce castings products that are relatively free of gas and porosity. The casting process is carried out with the rotating speed of the motor using a variation of speed of 500 rpm, 1000 rpm, and 1500 rpm using aluminum alloy as the material then melted with a temperature of 600°C to melt and poured using a centrifugal casting machine. In support of Rockwell testing, porosity test, Dye penetrant test, and replacement test. The results of the study of a combination of rotary rotation variations of 500 rpm, 1000 rpm, and 1500 rpm respectively were 27.4 HRB, 34.7 HRB, and 62.7 HRB. The porosity in the variation of rotating speed is 500 rpm, 1000 rpm, and 1500 rpm, which is a spin-contribution of 4.3%, 3.4%, and 2.1%. In testing the dye, it can be seen that the engine speed is faster, the less porosity in the diameter of the outer pipe. In leak testing with variations in rotating speed of 500 rpm, 1000 rpm, and 1500 rpm no leakage was found in the pipe. The conclusion of this study about the rotational speed of the centrifugal casting machine has an impact on speed and porosity. Optimal rotating speed for increasing speed at 1500 rpm with a speed of 62.7 HRB and optimal engine speed to minimize existing porosity at 1500 rpm with porosity of 2.1%. Suggestion when casting uses a heater to heat the mold so that the aluminum metal liquid can freeze completely to the end of the mold.

Keywords: centrifugal casting, Aluminum alloy, ASTM E 18

PENDAHULUAN

Pengecoran logam merupakan salah satu metode pembentukan logam yang paling sering digunakan di industri kecil maupun besar karena dapat membentuk benda-benda yang rumit, dapat menghemat waktu untuk pengerjaan produk massal, dapat menggunakan bahan baku hasil dari limbah industri seperti gram mesin bubut, ukuran produk yang dibuat tidak terbatas, dan produk yang dibuat dapat di daur ulang terus menerus sehingga ramah lingkungan. Pengecoran logam merupakan proses pembentukan material dengan melelehkan bahan baku ke dalam tungku peleburan kemudian dituang ke dalam cetakan (Hardi Sudjana, a 2008). Pembuatan pipa pada metode tradisional masih menggunakan proses *bending* dan pengelasan untuk membuat sebuah pipa dan untuk membuat plat yang digunakan untuk membuat pipa masih menggunakan pengecoran tuang sehingga sering terjadinya porositas dan kekerasan yang menurut akibat dari pembekuan yang terlalu lama.

Pengecoran *centrifugal casting* merupakan salah satu proses pengecoran yang menghasilkan produk cor berbentuk silinder dengan cara memutar cetakan pada sumbunya (Hardi Sudjana, b 2008). Proses pengecoran dapat dilakukan secara *vertical* maupun *horizontal*. Produk cor yang dihasilkan dengan metode ini mempunyai kelebihan yaitu arah pembekuan yang terarah (*directional solidification*) dari bagian diameter luar menuju ke diameter dalam, memiliki permukaan yang baik, dapat memproduksi pipa tanpa sambungan, dan produk yang dibentuk memiliki tingkat kepresisian yang tinggi. Material yang sering digunakan pada proses *centrifugal casting* yaitu aluminium dan tembaga. Pada penelitian ini menggunakan bahan aluminium karena tahan terhadap korosi dan ringan sehingga cocok digunakan sebagai pipa saluran air.

Centrifugal casting diaplikasikan untuk menghasilkan komponen-komponen yang berbentuk silindris dengan diameter besar maupun kecil seperti pipa saluran air. Pipa saluran air tentu membutuhkan sifat material yang keras agar saat pipa ditanam di bawah tanah tidak mengalami perubahan bentuk, tidak mudah korosi agar saluran air dapat berjalan dengan baik tanpa terkendala korosi dan seminimal mungkin adanya porositas agar tidak terjadi suatu kebocoran kecil pada pipa saluran air.

Permasalahan yang sering muncul pada saat proses *centrifugal casting* yaitu terjadi porositas yaitu cacat ruang pada material untuk itu penelitian ini dibuat sebagai solusi untuk meminimalisir porositas dan memaksimalkan kekerasan material. Cara yang digunakan yaitu dengan melakukan variasi putaran mesin dan mencari kecepatan yang ideal untuk proses *centrifugal casting* setelah itu dilakukan pengujian kekerasan dan porositas untuk melihat hasilnya.

Pengujian kekerasan yang digunakan yaitu pengujian kekerasan *Rockwell* merupakan salah satu metode pengujian kekerasan dengan menggunakan indenter yang ditekan pada permukaan material uji dengan melakukan pengujian ini dapat mengetahui nilai

kekerasan dari material uji, pengujian porositas menggunakan metode perhitungan densitas dan pengujian porositas *Dye Penetran* salah satu pengujian NDT (*Non Destructive Test*) yang digunakan untuk mengetahui cacat dengan menggunakan prinsip kapilaritas pada cairan.

Penelitian ini dilakukan untuk mencari pengaruh variasi kecepatan putar mesin *centrifugal casting* terhadap kekerasan dan porositas dengan melakukan tiga variasi kecepatan putar mesin sebesar 1500 rpm, 1000 rpm, dan 500 rpm selanjutnya dilakukan uji kekerasan *Rockwell*, pengujian porositas menggunakan metode densitas, uji porositas *Dye Penetran*, dan uji kebocoran sehingga hasilnya nanti dapat diperoleh hasil kekerasan yang maksimal dan porositas yang seminimal mungkin untuk menghasilkan pipa saluran air yang layak pakai.

Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- Bagaimanakah pengaruh variasi kecepatan putar mesin *centrifugal casting* terhadap kekerasan material aluminium hasil pengecoran logam ?
- Bagaimanakah pengaruh variasi kecepatan putar mesin *centrifugal casting* terhadap porositas material aluminium hasil pengecoran logam ?

Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Untuk mencari pengaruh variasi kecepatan putar mesin *centrifugal casting* terhadap kekerasan material aluminium hasil pengecoran logam.
- Untuk mencari pengaruh variasi kecepatan putar mesin *centrifugal casting* terhadap porositas material aluminium hasil pengecoran logam.

Centrifugal casting

Proses penuangan (pengecoran) dengan metode *centrifugal casting* dilakukan menggunakan cetakan logam (*die casting*), tidak semua bentuk benda tuangan dapat dilakukan dengan metode ini, benda-benda bulat silinder, dan simetris sesuai dengan konstruksinya dapat dicor dengan metoda *centrifugal* ini. Pengecoran dengan *centrifugal* ialah menggunakan putaran yang tinggi sehingga logam cair akan mengikuti bentuk dari diameter dalam cetakan. Mesin *centrifugal casting* pada umumnya memakai posisi *horizontal*, sebenarnya proses penuangan *centrifugal* ini dapat dilakukan pula secara *vertical* atau semi *centrifugal*, hal ini tergantung bentuk benda kerja yang akan dicor tersebut (Hardi Sudjana, c 2008). Penggunaan mesin *centrifugal casting* pada pengecoran aluminium sudah digunakan pada penelitian Masyari tahun 2013, Haposan situngkir tahun 2009 dan Muhammad Abdus Shomad dan Priyo Tri Iswanto tahun 2014 sehingga bisa digunakan sebagai rujukan untuk pemilihan metode pengecoran yaitu menggunakan mesin *centrifugal casting*.

Proses pengecoran *centrifugal* berbeda dengan proses pengecoran statik pada pengecoran *centrifugal*

pembekuan logam terjadi pada cetakan yang berputar sedangkan pada pengecoran statik pembekuan logam terjadi pada cetakan yang diam. Pada pengecoran *centrifugal* biasanya pengisian cetakan (*pouring*) dilakukan ketika cetakan sedang berputar, walaupun pada aplikasi tertentu terutama pada pengecoran *centrifugal* yang tegak lurus penuangan dimulai ketika cetakan diam, kemudian cetakan diputar sampai pada kecepatan tertentu sehingga pembekuan logam terjadi pada saat cetakan tersebut berputar. Pada pengecoran *centrifugal* yang mendatar pengisian logam dilakukan pada saat cetakan berputar pada kecepatan putar yang rendah, setelah cetakan penuh putaran dinaikkan sampai pada putaran tertentu dengan percepatan yang tinggi dan ditahan pada putaran itu sampai pembekuan terjadi.

Pada pengecoran *centrifugal*, proses pembekuan terjadi pada cetakan logam dan tidak memakai inti (*core*), penyerapan panas dari logam cair yang paling besar terjadi pada dinding cetakan bagian luar dan penyerapan panas yang lebih kecil terjadi pada bagian diameter dalam dari coran, karena pada bagian diameter luar logam cair bersentuhan dengan dinding cetakan yang terbuat dari logam dan pada bagian diameter dalam bersentuhan dengan udara oleh karena itu arah pembekuan coran terjadi dari bagian diameter luar mengarah ke bagian diameter dalam. Bagian coran yang membeku terlebih dahulu adalah pada bagian diameter luar, maka pengurangan volume akibat penyusutan akan terisi oleh logam cair yang tersisa pada bagian diameter dalam, oleh karena itu pada pengecoran *centrifugal* mendatar tidak digunakan penambah. Proses pengecoran ini dapat menghasilkan produk coran yang relatif bebas dari gas dan *shrinkage porosity*. Karena pengaruh dari gaya *centrifugal* hasil coran akan lebih padat, permukaan halus dan struktur logam yang dihasilkan akan memberikan sifat mekanik yang baik (Haposan Situngkir, 2009).

Pengaruh Kecepatan Putar Mesin

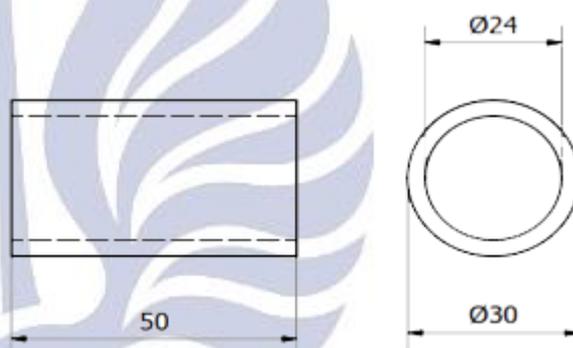
Pada pengecoran *centrifugal* cetakan diputar pada putaran tertentu dan besarnya putaran yang diberikan pada praktisnya dinyatakan dengan gravitasi (G) dan untuk 1 gravitasi (G) sama dengan $9,8 \text{ m/s}^2$. Biasanya ketika memproduksi coran dengan diameter yang kecil, cetakan diputar pada putaran yang memberikan gaya setara dengan 60G. Gaya yang bekerja pada coran yang kecil dan coran yang besar, akan sama besarnya bila diputar dengan besaran bilangan G yang sama, Putaran cetakan yang digunakan umumnya adalah 75G yang didasarkan pada diameter dalam coran yang diproduksi. Pada pembuatan coran silindris dengan mesin cetak *centrifugal* ada acuan khusus y. Kecepatan putar cetakan yang paling re cetak *centrifugal* mendatar adalah 20G.

Umumnya coran berbentuk silindris seperti pipa, dituang pada kecepatan putar cetakan sebesar 40G sampai dengan 60G Untuk coran dengan ketebalan yang besar (10 inci atau lebih) kriteria di atas harus dicermati dengan hati-hati. Diameter dalam menjadi sangat kecil, jika digunakan putaran dengan 60G yang didasarkan pada diameter dalam coran, maka dihasilkan putaran yang

berlebih, hal ini akan menghasilkan tegangan yang berlebih pada diameter luar coran yang dapat mengakibatkan retak pada arah logitudinal. Setelah berat dan ukuran tuangan ditentukan, maka kecepatan putar merupakan satu-satunya variabel dari gaya *centrifugal*, karena grafitasi merupakan besaran yang tetap dengan arah yang mendatar.

Pengaruh kecepatan putar pada mesin *centrifugal casting* yaitu semakin lambat laju penuangan mengakibatkan porositas dan berkurangnya kekerasan untuk itu semakin cepat terjadinya pembekuan material pada saat proses pengecoran akan semakin baik. Kecepatan yang terlalu rendah juga mengakibatkan sliding dan menghasilkan permukaan akhir yang kurang baik namun apabila Kecepatan putar yang terlalu tinggi dapat menimbulkan getaran dan dapat mengakibatkan retakan dan dapat menyebabkan cairan aluminium dapat keluar dari matras untuk itu pada penelitian ini kita akan mencari kecepatan yang ideal agar menghasilkan material yang memiliki kekerasan maksimal dan meminimalisir porositas.

Spesimen Uji



Spesimen uji kekerasan mengacu pada ASTM E 18 dan Uji porositas

Rumus perhitungan Densitas

Pengujian menggunakan perhitungan densitas Pengujian yang dilakukan adalah dengan membandingkan *true density* (massa jenis teori) dan *apparent density* (massa jenis aktual benda) . Porositas dapat dihitung dengan mengetahui nilai kedua jenis densitasnya terlebih dahulu. *True density* (ρ_{th}) adalah sebagai pembanding atau acuan terhadap jenis perhitungan densitas yang lainnya dengan persamaan sebagai berikut:

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}}\right) + \left(\frac{\%Si}{\rho_{Si}}\right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}}\right) + \text{etc}}$$

Dimana:

- ρ_{th} = Densitas teoritis (gr/cm^3)
- %Al = Persentase kandungan unsur Al (%)
- ρ_{Al} = Densitas unsur Al (gr/cm^3)
- %Si = Persentase kandungan unsur Si (%)
- ρ_{Si} = Densitas unsur Si (gr/cm^3)

Metode perhitungan *apparent density* dapat dilakukan dengan menggunakan metode piknometri yaitu metode yang dilakukan dengan mengetahui perbandingan berat produk di udara dan di dalam air. Pengukuran *apparent density* (ρ_{ap}) dengan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_{ap} = \rho_{liquid} \cdot \left(\frac{W_s}{W_s - W_{sb}} \right)$$

Dimana:

ρ_{ap} = Densitas *actual* (gr/cm³)

ρ_{liquid} = Massa jenis cairan (gr/cm³)

W_s = Berat benda di udara (gr)

W_{sb} = Berat benda di dalam air (gr)

Untuk menghitung persentase porositas menggunakan persamaan berikut :

$$\%P = \left(\frac{\rho_{ap}}{\rho_{th}} \right) \times 100\%$$

Dimana :

$\%P$ = Persentase porositas (%)

ρ_{ap} = Densitas *actual* (gr/cm³)

ρ_{th} = Densitas teoritis (gr/cm³)

METODE

Jenis Penelitian

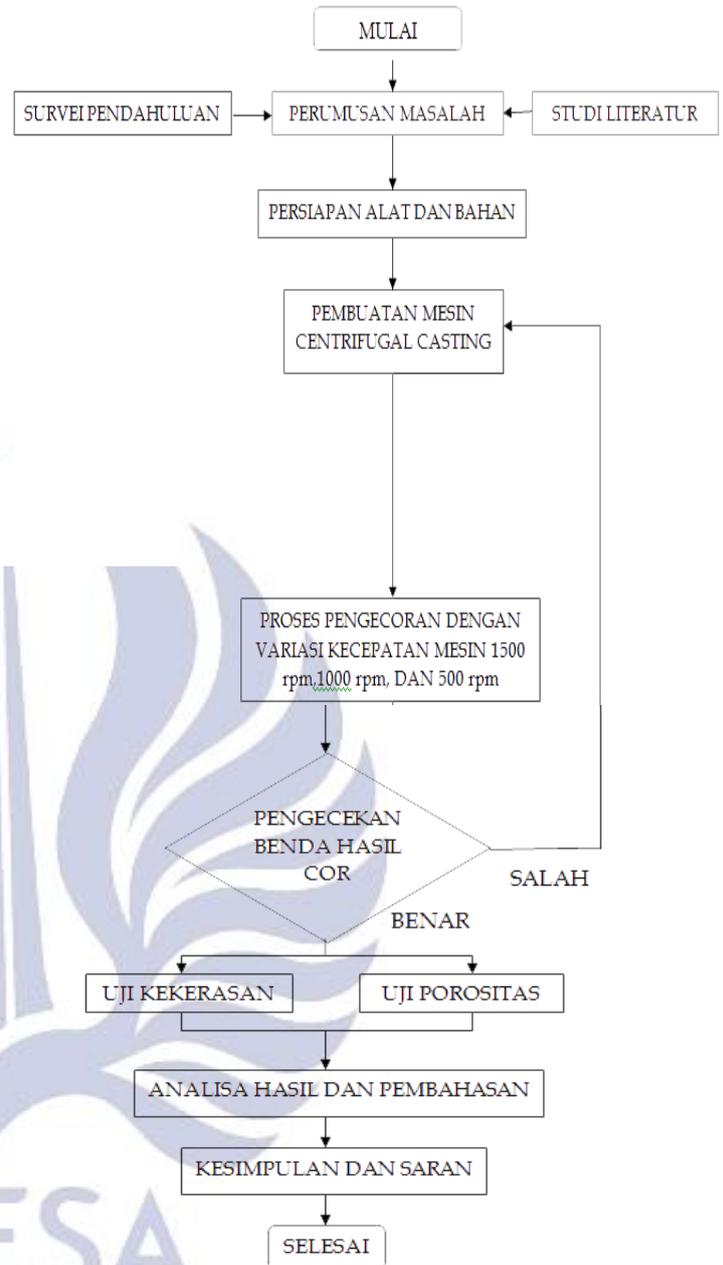
Penelitian ini menggunakan eksperimen riset (*research experimental*). Penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui akibat yang ditimbulkan dari suatu perlakuan yang diberikan secara sengaja oleh peneliti. Dalam penelitian eksperimen dilakukan perubahan paling sedikit satu variabel, mengontrol variabel lain yang relevan dan mengobservasi efek atau pengaruhnya terhadap satu atau lebih variabel terikat. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kekerasan dan meminimalisir porositas menggunakan mesin *centrifugal casting* dengan melakukan variasi putaran mesin.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan Universitas Negeri Surabaya. Proses pengecoran *centrifugal casting* dilakukan di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik di Lab Pengecoran Universitas Negeri Surabaya sedangkan uji kekerasan *Rockwell* dilakukan di Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik di Lab Pengujian Bahan Universitas Negeri Surabaya dan pengujian porositas dilakukan di Jurusan Fisika, Fakultas FMIPA di Laboratorium Uji Fisika Universitas Negeri Surabaya. Penelitian ini dilakukan selama 5 bulan, mulai bulan September 2018 sampai dengan bulan Februari 2019

Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian adalah langkah-langkah pengumpulan data yang dilakukan oleh peneliti pada saat proses penelitian berlangsung.



Gambar 1 Diagram alir proses penelitian

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu dilakukan setelah proses pengecoran *centrifugal casting* selanjutnya dilakukan pengujian kekerasan *Rockwell*, pengujian porositas dan uji kebocoran yang kemudian data hasil pengujian dicatat, diolah dalam bentuk tabel, dibuat grafik dan didokumentasi.

Teknik Analisis Data

Teknik analisa data yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif kuantitatif dan deskriptif kualitatif. Analisa kuantitatif dilakukan dengan cara menelaah data dari hasil pengujian yang berupa nilai (kuantitatif) dan disajikan dalam bentuk tabel serta ditampilkan dalam bentuk grafik. Langkah berikutnya dilakukan analisis kualitatif yaitu mendeskripsikan atau menggambarkan data tersebut sebagaimana adanya dalam bentuk kalimat yang mudah dibaca dan dipahami sehingga pada intinya sebagai upaya memberi jawaban atas permasalahan yang diteliti (Sugiyono, 2013).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Kekerasan

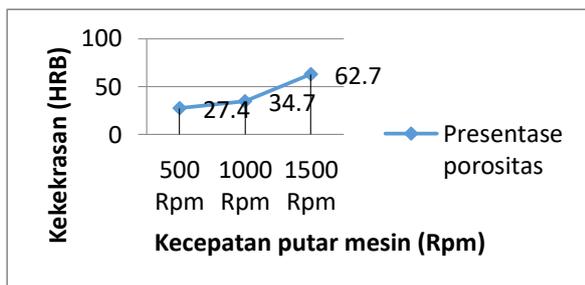
Uji kekerasan dilakukan di lab pengujian bahan di universitas negeri Surabaya. Uji kekerasan ini menggunakan metode *Rockwell B* yang menggunakan 9 spesimen sebagai benda ujinya. Spesimen akan ditekan menggunakan indentor yang terbuat dari bola baja setelah itu diberikan beban penekanan kemudian akan keluar hasilnya.

Tabel 1 Hasil Pengujian Kekerasan

Kecepatan Mesin		Hasil Kekerasan Rockwell B (HRB)			Hasil rata-rata 3 titik (HRB)	Nilai rata-rata 3 spesimen (HRB)
rpm	Spesimen	Uji titik 1	Uji titik 2	Uji titik 3		
500	1	28,6	34,4	29,2	30,7	27,4
	2	27,9	27,4	28,6	27,9	
	3	24,2	25,4	21,2	23,6	
1000	1	32,0	35,5	36,2	34,5	34,7
	2	35,5	38,3	37,6	37,1	
	3	32,6	32,7	32,6	32,6	
1500	1	59,5	59,5	59,1	59,3	62,7
	2	66,5	64,5	64,5	65,1	
	3	67,0	62,8	61,4	63,7	

Data pada tabel 1 uji kekerasan diolah menjadi grafik untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan putar mesin terhadap kekerasan material.

Berikut Grafik Hasil Pengujian Kekerasan



Gambar 1 Grafik hasil pengujian kekerasan

Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan putar nilai kekerasan semakin tinggi. Nilai kekerasan tertinggi terjadi pada putaran 1500 rpm, nilai kekerasan ini lebih tinggi dibandingkan standart hasil pipa aluminium pabrikan yang hanya mencapai 15.5 HRB (*Hardness standart*).

Proses pembekuan logam cair dimulai dari logam cair yang bersentuhan dengan dinding cetakan yaitu ketika panas dari logam cair diambil oleh cetakan sehingga bagian logam yang bersentuhan dengan cetakan akan akan mendingin sampai titik beku. Selama proses pembekuan berlangsung inti-inti kristal tumbuh. Bagian dalam coran mendingin lebih lambat daripada bagian luarnya sehingga kristal-kristal tumbuh dari inti asal mengarah kebagian dalam coran dan butir-butir kristal tumbuh dari inti asal mengarah kebagian dalam coran dan butir-butir Kristal tersebut berbentuk panjang-panjang seperti kolam. Struktur ini muncul dengan jelas apabila *gradient* temperatur yang besar terjadi pada permukaan coran besar. Akibat adanya perbedaan kecepatan pembekuan, semakin cepat mengalami pembekuan sehingga struktur atom yang ada di dalam spesimen semakin kecil dan padat sehingga dapat meningkatkan kekerasan benda kerja (Teknik pengecoran logam, 2015)

Kenaikan kekerasan ini disebabkan karena semakin tinggi kecepatan putar akan menyebabkan waktu pembekuan lebih cepat, gaya sentrifugal yang dihasilkan juga semakin besar, laju pertumbuhan inti lebih besar dari laju pertumbuhan butir, sehingga didapat struktur butir yang halus. Semakin cepat mengalami pembekuan sehingga struktur atom yang ada didalamnya semakin rapat dan padat sehingga meningkatkan nilai kekerasan.

Uji Porositas:

Metode densitas

Uji porositas metode densitas digunakan untuk mengetahui porositas dibagian dalam dengan cara membandingkan densitas teoritis dengan densitas aktual spesimen. Untuk mengetahui densitas teoritis perlu dilakukan pengujian komposisi *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk mengetahui komposisi dan persentase unsur spesimen. Hasil uji komposisi sebagai berikut

Tabel 2 Data Uji Komposisi

No	Unsur	Persentase (%)	Densitas Unsur (gram/cm ³)	Densitas Teoritis (gram/cm ³)
1	Al	92,82	2,65	2,69
2	Zn	3,61	2,05	
3	Cu	2,51	8,58	
4	Pb	1,05	11,81	

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left(\frac{\%Al}{\rho_{Al}}\right) + \left(\frac{\%Zn}{\rho_{Zn}}\right) + \left(\frac{\%Cu}{\rho_{Cu}}\right) + \left(\frac{\%Pb}{\rho_{Pb}}\right)}$$

$$\rho_{th} = \frac{100}{\left(\frac{92,82}{2,65}\right) + \left(\frac{3,61}{2,05}\right) + \left(\frac{2,51}{8,58}\right) + \left(\frac{1,05}{11,81}\right)}$$

$$\rho_{th} = 2,69$$

Tabel 3 Data Hasil Piknometri

Kecepatan (rpm)	Spesimen	Berat di udara (Ws)	Berat di Fluida (Wsb)
500	1	44,296	26,802
	2	41,778	25,585
	3	49,981	30,905
1000	1	37,610	23,310
	2	43,730	26,781
	3	42,028	25,801
1500	1	45,427	28,627
	2	44,693	27,963
	3	43,892	26,564

$$\rho_{ap} = \rho_{liquid} \cdot \left(\frac{100}{W_s - W_{sb}}\right)$$

$$\rho_{ap} = 1 \cdot \left(\frac{100}{W_s - W_{sb}}\right)$$

$$\rho_{ap} = 2,532$$

Untuk mengetahui densitas aktual dilakukan pengujian piknometri dengan cara menimbang spesimen uji di udara dan di dalam fluida yang bermassa 1 gr/cm³. Pengujian berjumlah 9 spesimen dan diuji di laboratorium material jurusan fisika universitas negeri surabaya. Berikut data hasil uji piknometr

Tabel 4 Data Hasil Pengujian Porositas

No	Kecepatan		Densitas Teoritis (gr/cm ³)	Densitas Aktual		Porositas (%)
	Rpm	Spe sim en		gr/cm ³	Rata-rata (gr/cm ³)	
1	500	1	2,69	2,532	2,577	4,3
		2		2,580		
		3		2,620		
2	1000	1	2,69	2,630	2,600	3,4
		2		2,580		
		3		2,590		
3	1500	1	2,69	2,703	2,635	2,1
		2		2,671		
		3		2,535		

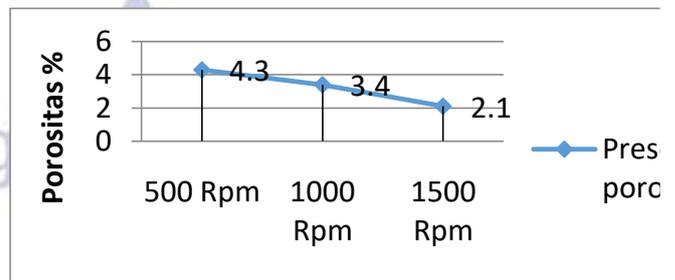
$$\%P = \left(\frac{\rho_{ap}}{\rho_{th}}\right) \times 100\%$$

$$\%P = \left(\frac{2,577}{2,69}\right) \times 100\%$$

$$\%P = 4,3\%$$

Data tabel 4 diolah menjadi grafik untuk mengetahui pengaruh kecepatan putar mesin terhadap porositas dibagian dalam pada aluminium paduan .

Grafik Hasil Pengujian Porositas



Gambar 2 Grafik hasil pengujian porositas

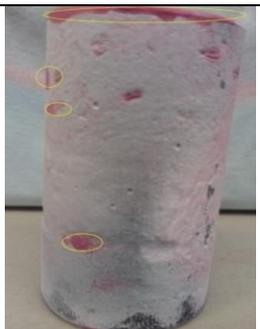
Berdasarkan hasil pengujian porositas mengalami penurunan porositas dengan naiknya kecepatan putar, seperti yang ditunjukkan pada Grafik. Terjadinya porositas dimulai dari suhu panas logam cair yang dituangkan kedalam cetakan sehingga suhu menurun karena bersentuhan dengan cetakan lalu mengalami pembekuan logam cair dan udara yang ada pada cetakan akan masuk ke dalam spesimen pada saat proses pembekuan. Untuk mengurangi porositas diperlukan

variasi kecepatan putar mesin untuk memperoleh pembekuan yang sangat cepat sehingga udara yang ada pada cetakan akan terdorong keluar oleh gaya sentrifugal yang dipengaruhi oleh kecepatan putar mesin. Semakin cepat putaran mesin menyebabkan semakin cepat terjadinya pembekuan sehingga udara yang masuk ke dalam spesimen sangat kecil karena pembekuan logam yang semakin cepat sehingga struktur atom yang ada di dalam semakin kecil dan padat sehingga rongga-rongga di dalam nya semakin sedikit dan berdampak pada jumlah porositas juga semakin berkurang (Teknik pengecoran logam, 2015).

Metode dye penetrant

Untuk mendukung uji porositas dilakukan uji *dye penetrant* untuk mengetahui porositas pada permukaan. Pengujian dilakukan di permukaan spesimen kemudian di foto dan deskripsikan untuk setiap variasi temperatur tuangnya. Data pengujian porositas menggunakan metode *dye penetrant* pada permukaan spesimen pada tabel sebagai berikut:

Tabel 5 Data Hasil Pengujian Porositas Metode *Dye penetrant*

Kecepatan (rpm)	Foto	Deskripsi
500		Terdapat porositas sebanyak 7 titik dengan ukuran 2 mm
		Terdapat porositas sebanyak 5 titik dengan ukuran 4 mm dan ukuran 2 mm.
1000		Terdapat porositas sebanyak 4 titik dengan ukuran 1 mm dan 3 mm

		Terdapat porositas sebanyak 3 titik dengan ukuran 2 mm dan 4 mm.
1500		Terdapat porositas sebanyak 2 titik dengan ukuran 1 mm.
		Terdapat porositas sebanyak 3 titik dengan ukuran 1 mm

Untuk mendukung pengujian porositas metode densitas secara kuantitatif perlu dilakukan pengujian menggunakan metode *dye penetrant* secara kualitatif untuk membuktikan fakta yang terjadi pada penelitian. Pengujian *dye penetrant* memperlihatkan perbedaan porositas pada permukaan. Pada kecepatan putar mesin 1500 rpm terdapat porositas sebanyak 2-3 titik dengan ukuran 1 mm ini terjadi karena pembekuan lebih cepat sehingga sebagian kecil gelembung berukuran kecil mampu bergerak keluar. Pada kecepatan putar mesin 1000 rpm Terdapat porositas sebanyak 3-4 titik dengan ukuran 2 mm - 4 mm membuat logam cair lebih lama membeku dibanding kecepatan putar mesin 1500 rpm sehingga banyak porositas yang mampu bergerak keluar sebelum pembekuan terjadi dan pada kecepatan putar mesin 500 rpm Terdapat porositas sebanyak 5-7 titik dengan ukuran 2 mm - 4 mm ini terjadi karena pembekuan lebih lama sehingga sebagian besar gelembung berukuran kecil mampu bergerak keluar.

Uji Kebocoran

Tabel 6 Data Uji Kebocoran

Kecepatan putar (rpm)	Foto	Deskripsi
500		Pandangan depan tidak terjadi sedikit pun kebocoran
		Pandangan atas tidak terjadi kebocoran
1000		Pandangan depan tidak terjadi sedikit pun kebocoran
		Pandangan atas tidak terjadi kebocoran
1500		Pandangan depan tidak terjadi sedikit pun kebocoran
		Pandangan atas tidak terjadi kebocoran

Untuk mendukung pembuatan pipa harus melakukan pengujian kebocoran agar saat penggunaan tidak terjadi sebuah kebocoran yang dapat mengakibatkan banyak kerugian. Pada variasi kecepatan putar mesin mulai dari

500 rpm hingga 1500 rpm tidak terjadi sama sekali kebocoran bisa dibuktikan dengan dokumentasi tersebut tidak ada air yang menetes dibawah maupun didinding pipa ini disebabkan karena pembuatan pipa menggunakan mesin *centrifugal casting* sehingga pembuatan pipa dapat diatur kecepatan sehingga mempengaruhi kecepatan pembekuan pipa dan dapat membeku merata oleh gaya *centrifugal* dan tidak terjadi cacat lubang.

Analisa Kekerasan Dengan Porositas

Berdasarkan analisis disetiap pengujian didapatkan bahwa secara kualitatif berdasarkan grafik pada gambar 4.1 yaitu kekerasan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan putar mesin dan berdasarkan grafik pada gambar 4.2 yaitu porositas dibagian dalam menurun seiring dengan meningkatnya kecepatan putar mesin, disamping itu secara kuantitatif gambar uji porositas menggunakan *dye penetran* membuktikan bahwa porositas dibagian luar meningkat seiring dengan menurunnya kecepatan putar mesin. Meningkatkan kecepatan putar mesin membuat kekerasan pipa meningkat dikarenakan dengan meningkatkan kecepatan putar mesin membuat Aluminium cair lebih cepat mengalami pembekuan sehingga struktur atom yang ada didalamnya semakin rapat. Menurunnya kecepatan putar mesin membuat porositas meningkat karena gelembung gas yang berada di dalamnya masih terperangkap sebelum pembekuan terjadi. Porositas yang berada didalam bergerak keluar menyebabkan porositas pada permukaan spesimen meningkat. Peningkatan porositas dibagian luar cenderung membentuk gumpalan disuatu titik. Porositas yang keluar membuat bagian dalam semakin solid, hal ini memberikan pengaruh pada kekerasannya itu semakin solid tanpa adanya rongga dibagian dalam dan berkurangnya porositas pada spesimen membuat kekerasan semakin meningkat.

Analisis menggunakan metode anova

Data hasil pengujian selanjutnya dianalisa untuk bisa mendapatkan jawaban dari rumusan hipotesa yang telah dibuat menggunakan metode anova tunggal (*One-way Anova*) dengan aplikasi SPSS 22. Sebelum dilakukan pengujian anova, data harus terlebih dahulu dipastikan bahwa data dari masing-masing varian berdistribusi normal, sama (homogen), dan sampel tidak berhubungan satu dengan yang lain. Oleh karena, itu perlu dilakukan uji normalitas dan uji homogenitas terlebih dahulu

Tabel 7 Uji Normalitas Data Uji Kekerasan dan Data Uji Porositas

Tests of Normality						
RPM	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Uji Kekerasan	RPM 500	,222	3	,985	3	,768
	RPM 1000	,208	3	,992	3	,829
	RPM 1500	,296	3	,918	3	,446
Uji Porositas	RPM 500	,191	3	,997	3	,900
	RPM 1000	,314	3	,893	3	,363
	RPM 1500	,318	3	,887	3	,344

a. Lilliefors Significance Correction

Dari hasil uji normalitas diatas dapat diketahui apakah masing-masing variabel terdistribusi normal atau tidak. Pedoman pengambilan keputusan adalah sebagai berikut :

- Jika nilai sig. kurang dari 0,05 maka, data dinyatakan memiliki distribusi tidak normal.
- Jika nilai sig. lebih dari 0,05 maka, data dinyatakan memiliki distribusi normal.

Pedoman ini mengacu pada hasil perhitungan alat uji normalitas *Shapiro-Wilk*. Dimana, menurut hasil pengujian didapatkan masing-masing variabel memiliki nilai sig. diatas 0,05 sehingga dapat dikatakan bahwa data hasil pengujian kekerasan dan porositas terdistribusi normal.

Uji Homogenitas

Tabel 8 Uji Homogenitas Data Kekerasan dan Porositas

Test of Homogeneity of Variances

	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Uji Kekerasan	,366	2	6	,708
Uji Porositas	3,163	2	6	,115

Dari hasil uji normalitas diatas dapat diketahui apakah sampel homogen atau tidak. Pedoman pengambilan keputusan adalah sebagai berikut :

- Jika nilai sig. kurang dari 0,05 maka, data dinyatakan tidak homogen.
- Jika nilai sig. lebih dari 0,05 maka, data dinyatakan homogen.

Hasil pengujian didapatkan nilai sig. dari masing-masing variabel diatas 0,05 sehingga dapat dikatakan bahwa data hasil pengujian kekerasan dan porositas adalah homogen.

Analisa menggunakan metode anova tunggal harus memiliki hipotesa sebelum dapat menarik sebuah simpulan,

Hipotesa yang diajukan adalah :

Ho = Tidak ada pengaruh yang signifikan variasi kecepatan putar mesin terhadap kekerasan dan porositas.

Ha = Ada pengaruh yang signifikan variasi kecepatan putar mesin terhadap kekerasan dan porositas

Tabel 9 Uji Anova

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Uji Kekerasan	Between Groups	2082,002	2	1041,001	115,439	,000
	Within Groups	54,107	6	9,018		
	Total	2136,109	8			
Uji Porositas	Between Groups	,005	2	,003	,752	,511
	Within Groups	,021	6	,004		
	Total	,027	8			

Dasar pengambilan keputusan anova tunggal adalah perbandingan F hitung dengan F tabel. Dengan ketentuan sebagai berikut:

Jika F hitung (angka F output) > statistik tabel (tabel F), maka Ho ditolak, Ha diterima.

Jika F hitung (angka F output) < statistik tabel (tabel F), maka Ho diterima, Ha ditolak.

Nilai F hitung pada tabel 4.9 adalah 115,439 untuk uji kekerasan dan 0,752 untuk uji porositas dengan nilai signifikansi 0,05 sementara nilai statistik tabel dapat ditemukan pada tabel F, dalam uji anova ini menggunakan tingkat signifikansi (α) sebesar 5%. Untuk menentukan nilai F tabel dibutuhkan dk pembilang dan dk penyebut, dk pembilang didapatkan dengan menghitung jumlah variabel kelompok dikurangi 1 maka $3 - 1 = 2$; sedangkan dk penyebut adalah jumlah seluruh sampel dikurangi jumlah variabel kelompok maka $9 - 3 = 6$. Dengan nilai dk pembilang 2 dan dk penyebut 6 maka didapatkan nilai F tabel yaitu 5,14.

Berdasarkan uraian diatas pada uji kekerasan nilai F hitung lebih besar dari pada nilai F tabel pada. Maka dapat disimpulkan bahwa Ha diterima dan Ho ditolak atau dengan kata lain ada pengaruh yang signifikan variasi kecepatan putar mesin terhadap kekerasan.

Berdasarkan uraian diatas pada uji porositas nilai F hitung tidak lebih besar dari pada nilai F tabel pada. Maka dapat disimpulkan bahwa maka Ho diterima, Ha ditolak atau dengan kata lain tidak ada pengaruh yang signifikan variasi kecepatan putar mesin terhadap porositas.

Tabel 10 Hasil Spesimen

rpm	Gambar hasil	Pembahasan
500		Spesimen variasi 500 rpm ini memiliki permukaan logam hasil cor yang kasar merupakan efek dari logam yang mempunyai daerah beku yang lebar. Semakin rendah kecepatan putar membuat permukaan yang kurang baik.
1000		Spesimen variasi 1000 rpm ini memiliki permukaan logam yang sedikit kasar merupakan efek dari logam yang mempunyai daerah beku yang lebar. Semakin sedang kecepatan menyebabkan permukaan yang kurang baik.
1500		Spesimen variasi 1500 rpm ini memiliki permukaan logam yang halus merupakan efek dari logam yang mempunyai daerah beku yang sempit dan struktur butir yang halus dan padat sehingga memperhalus permukaan

PENUTUP

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian maka disimpulkan sebagai berikut:

1. Variasi kecepatan putar mesin *centrifugal casting* menggunakan aluminium paduan mempengaruhi hasil kekerasan. Kekerasan spesimen pada variasi kecepatan 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm berturut-turut sebesar 27,4 HRB, 34,7 HRB, dan 62,7 HRB. Kekuatan putar yang optimum terdapat pada kecepatan 1500 rpm dengan kekerasan sebesar 62,7 HRB
2. Variasi kecepatan putar mesin *centrifugal casting* menggunakan aluminium paduan mempengaruhi hasil porositas. Porositas spesimen pada variasi kecepatan 500 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm berturut-turut sebesar 4,3%, 3,4%, dan 2,1%. Kekuatan putar yang optimum terdapat pada kecepatan 1500 rpm dengan Porositas sebesar 2,1%.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian maka diberikan saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya digunakan pemanas untuk memanaskan cetakan agar saat penuangan cairan aluminium dapat membeku hingga ujung cetakan.
2. Diameter cetakan dibuat lebih besar agar mudah saat pengeluaran spesimen

DAFTAR PUSTAKA

- Situngkir, Haposan. 2009. Pengaruh Putaran Cetakan Terhadap Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu Pada Pembuatan Silinder Linier Mesin Otomotif Dengan Pengecoran Sentrifugal Mendatar. Universitas Sumatra utara. Medan.
- Sudjana, Hardi. 2008. a. *Teknik Pengecoran Logam*. Jilid 1. Direktorat Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- Sudjana, Hardi. 2008. b. *Teknik Pengecoran Logam*. Jilid 2. Direktorat Sekolah Menengah Kejuruan. Jakarta.
- Sudjana, Hardi. 2008. c. *Teknik Pengecoran Logam*. Jilid 3. Direktorat Sekolah Menengah Kejuruan Jakarta.
- Sugiyono. 2013. *Metodologi Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. 2014. *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.