

# PENGARUH PUTARAN CETAKAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BESI COR KELABU PADA PEMBUATAN SILINDER LINER MESIN OTOMOTIF DENGAN PENGECORAN SENTRIFUGAL MENDATAR

HAPOSAN SITUNGKIR

Program Studi Teknik Mesin

Sekolah Pascasarjana Universitas Sumatera Utara Medan

## Abstrak

Pengecoran sentrifugal mendatar adalah salah satu proses pengecoran yang umumnya digunakan untuk membuat coran yang berbentuk silinder berongga. Proses pengecoran dilakukan pada cetakan yang berputar sehingga logam cair ikut berputar di dalam cetakan sampai pembekuan terjadi. Putaran cetakan ini akan menimbulkan gaya sentrifugal yang dapat mempengaruhi sifat mekanik coran yang meliputi kuat tarik, kekerasan dan strukturmikro.

Coran yang dihasilkan penelitian terbuat dari bahan FC 300 berbentuk silinder berongga dengan ukuran diameter luar ( $D$ ) = 105 mm, diameter dalam ( $d$ ) = 60 mm dan panjang ( $L$ ) = 165 mm. Variasi putaran dipilih sebanyak enam variasi yaitu  $n_1 = 900$  rpm,  $n_2 = 1100$  rpm,  $n_3 = 1300$  rpm,  $n_4 = 1450$  rpm dan  $n_5 = 1600$  rpm, dan  $n_6 = 1700$  rpm. Pada setiap coran yang dihasilkan melalui variasi putaran cetakan dilakukan pengujian tarik, kekerasan dan metalografi. Dari hasil pengujian tarik diperoleh bahwa semakin tinggi putaran yang diberikan maka kekuatan tarik dari coran juga semakin besar. Dari hasil uji kekerasan Brinell diperoleh bahwa semakin tinggi putaran cetakan menghasilkan kekerasan coran yang semakin besar dan kekerasan coran lebih besar pada bagian diameter luar dan semakin kecil menuju pada diameter dalam. Pengujian metalografi dilakukan dengan mengamati struktur mikro yang terjadi pada coran. Dari hasil pengamatan struktur mikro diperoleh bahwa bentuk grafit yang terjadi pada coran untuk setiap variasi putaran cetakan adalah I. Pada bagian diameter dalam coran untuk semua variasi putaran cetakan terdapat grafit tipe A. Tipe grafit yang terjadi pada coran pada bagian luar coran untuk setiap variasi putaran cetakan adalah D dan pada bagian diameter dalam adalah A. Pada bagian diameter tengah, terdapat dua jenis tipe grafit yaitu pada putaran cetakan  $n_1$ ,  $n_2$  dan  $n_3$  adalah B dan pada putaran cetakan  $n_4$ ,  $n_5$  dan  $n_6$  adalah D. Ukuran grafit untuk semua variasi putaran cetakan, pada bagian diameter luar 6, pada bagian diameter tengah 5 dan pada bagian diameter dalam 4.

**Kata Kunci:** Putaran cetakan; Silinder liner; Pengecoran sentrifugal; Gaya sentrifugal; Besi tuang kelabu; Sifat mekanik; Struktur mikro.

## Abstract

The horizontal centrifugal casting is one of casting process using for making hollow cylindrical casting shape. Molten iron poured into the rotating mould and permitted to solidify, the mould and casting are then separated from each other. The speed of mould rotating generates centrifugal force that exerts molten iron on the mould cavity, this force will influence the mechanical properties of casting such as strength, hardness and microstructure. In this research, casting produced by horizontal centrifugal casting process out of FC 300 material, hollow cylinder shape with outer diameter ( $D$ ) = 110 mm, inner diameter ( $d$ ) = 60 mm and length ( $L$ ) = 165 mm. Variation of rotational speed is selected six times  $n_1 = 900$  rpm,  $n_2 = 1100$  rpm,  $n_3 = 1300$  rpm,  $n_4 = 1450$  rpm dan  $n_5 = 1600$  rpm, and  $n_6 = 1700$  rpm. To each casting has produced through variation of mould rotation conducted examination in the field of tensile test, hardness test and metalography test. From the results of tensile test obtained that the more high the rotational speed given to the mould during the process generate the bigger strength. From the results of Brinell hardness test metode also obtained that the higher speed rotation gives to the mould, the hardness of casting is increasing and hardness of casting is

*biggest at outer diameter and goes lower to the inner diameter. Examination of metalography is conducted by perceiving microstructure that happened at the casting. From the results of microstructure investigation obtained that graphite form that happened at casting for every selected mould rotation is shape I. At the parts of inner diameter of casting for all selected of mould rotation are graphite type A. Graphite type that happened at outer diameter of casting for every selected mould rotation variation is D. At the parts of middle diameter, there are two graphite type for selected mould rotation of  $n_1$ ,  $n_2$  and  $n_3$  are B, and for  $n_4$ ,  $n_5$  and  $n_6$  are D. Size of graphite for all selected mould rotation at external diameter 6, middle diameter 5 and inner diameter 4.*

**Keywords** : Mould rotation; Cylinder line; Centrifugal casting; Centrifugal force; Gray cast iron;

## 1. PENDAHULUAN

Silinder liner adalah salah satu dari komponen mesin otomotif yang dipasang pada silinder blok, silinder liner ini berfungsi sebagai tempat piston bekerja pada suhu dan tekanan yang tinggi. Oleh karena itu bahan silinder liner memerlukan sifat yang tahan terhadap gesekan, suhu yang tinggi dan pemuaihan yang rendah, sifat ini dimiliki oleh besi cor kelabu sehingga cocok digunakan sebagai bahan dari silinder liner. Tuntutan lain yang harus dipenuhi oleh silinder liner adalah tahan terhadap kebocoran, karena silinder liner bekerja pada tekanan kompresi yang tinggi saat mesin bekerja. Kebocoran kompresi ini dapat terjadi jika terdapat porosisitas pada bahan.

Besi tuang kelabu dapat dicor pada cetakan pasir maupun logam, oleh karena itu pembuatan bahan silinder liner dapat juga dilakukan dengan pengecoran pada cetakan dan inti pasir. Pada pengecoran dengan menggunakan cetakan pasir, toleransi ukuran lebih longgar jika dibandingkan dengan pengecoran pada cetakan logam karena pemuaihan cetakan pasir lebih besar dari pemuaihan cetakan logam. Pada pengecoran sentrifugal, logam cair dituangkan ke dalam cetakan yang sedang berputar. Dengan berputarnya cetakan logam cair juga ikut berputar di dalam cetakan sampai logam cair tersebut membeku. Akibat gaya sentrifugal, logam cair akan menempel pada kaviti cetakan sehingga coran berbentuk silinder yang berongga.

Pada pembuatan bahan silinder liner dengan pengecoran sentrifugal putaran tunggal dan menggunakan tanur peleburan kupola, sering ditemui bahwa kualitas dari produk coran yang dihasilkan memiliki karakteristik yang tidak seragam. Ketidak seragaman karakteristik ini dapat berasal dari tanur peleburan dan mesin sentrifugal yang digunakan. Pengaturan komposisi bahan pada tanur kupola sulit dilakukan karena pada proses peleburan berlangsung, material yang mempunyai titik lebur yang lebih rendah akan mencair terlebih dahulu dan material yang mempunyai titik cair yang lebih tinggi mencair belakangan, sehingga ketika pengeluaran cairan logam dari tanur (*tapping*) dilakukan, komposisinya dapat berubah dari *tapping* yang pertama ke *tapping* selanjutnya. Komposisi dari logam cair juga dapat berubah karena tanur kupola menggunakan bahan bakar kokas karena bahan bakar ini bersentuhan langsung dengan logam cair, sehingga dapat terjadi penambahan karbon pada logam cair akibat pemakaian kokas tersebut.

Penggunaan putaran tunggal pada pembuatan bahan silinder liner (coran berbentuk silinder berongga) dengan diameter yang berbeda, akan memberikan gaya sentrifugal yang juga berbeda pada coran tersebut, perbedaan gaya ini dapat mempengaruhi karakteristik bahan silinder liner yang dihasilkan. Kualitas bahan silinder liner yang dihasilkan melalui proses pengecoran sentrifugal juga dapat dipengaruhi oleh putaran

cetakan, komposisi bahan baku, suhu penuangan dan suhu cetakan. Ketika pengecoran dilakukan pada cetakan yang berputar, gaya sentrifugal timbul dan mendesak logam cair ke dinding cetakan yang terbuat dari logam sampai logam cair tersebut membeku di dalam cetakan. Akibat adanya gaya ini maka besar butir yang terjadi semakin halus, porositas berkurang sehingga sifat mekanik dari silinder liner yang terbuat dari besi cor kelabu dapat ditingkatkan.

Pada penelitian ini akan dibahas sejauh mana pengaruh putaran cetakan terhadap sifat mekanik dari bahan silinder liner yang terbuat dari bahan besi cor kelabu yang diproduksi dengan pengecoran sentrifugal. Bahan silinder liner yang diuji pada penelitian ini adalah bahan silinder liner hasil penelitian yang belum dimesin (*as-cast*).

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pengecoran Sentrifugal

Proses pengecoran sentrifugal berbeda dengan proses pengecoran statik, pada pengecoran sentrifugal, pembekuan logam terjadi pada cetakan yang berputar, sedangkan pada pengecoran statik pembekuan logam terjadi pada cetakan yang diam. Pada pengecoran sentrifugal, biasanya pengisian cetakan (*pouring*) dilakukan ketika cetakan sedang berputar, walaupun pada aplikasi tertentu terutama pada pengecoran sentrifugal 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 sentrifugal yang mendarat, 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.

Hampir semua logam dan logam paduan mengalami penurunan

volume ketika berubah dari fasa cair ke fasa padat. Penurunan volume ini disebut dengan penyusutan, besarnya penyusutan tergantung dari jenis logamnya, penyusutan dapat terjadi sampai 5 % atau lebih. Oleh karena itu pada pengecoran statik dipakai penambah (*riser*) yang berfungsi untuk mengisi cetakan ketika penyusutan berlangsung. Suhu logam terus menurun dalam cetakan sampai pada akhirnya membeku seluruhnya. Pada kondisi ini juga terjadi penurunan volume seiring dengan penurunan suhu coran, sehingga ukuran coran menjadi lebih kecil pada suhu kamar, untuk mengatasi hal ini biasanya dilakukan penambahan ukuran pada mal (*pattern allowance*).

Pada pengecoran sentrifugal, 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. Karena 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 sentrifugal mendarat tidak digunakan penambah.

Pengecoran *centrifugal* adalah proses penuangan logam cair ke dalam cetakan yang berputar. 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. Selain itu, pengotor yang memiliki berat jenis lebih rendah

dibandingkan logamnya akan berkumpul di permukaan dalam dan dapat dibuang melalui proses pemesinan. Kecepatan putar cetakan yang ideal akan menghasilkan gaya adhesi yang cukup besar antara logam cair dengan dinding cetakan dan getaran yang minimal. Kondisi seperti ini dapat menghasilkan sebuah benda cor dengan struktur yang seragam. Kecepatan putar yang terlalu rendah dapat mengakibatkan *sliding* dan menghasilkan permukaan yang kurang baik. Sedangkan kecepatan putar yang terlalu tinggi dapat menimbulkan getaran, dimana hasilnya berupa *segregasi* melingkar.

## 2.2 Jenis-jenis Pengecoran Sentrifugal

### 2.2.1 Semi Sentrifugal

Pada proses ini cetakan diisi penuh oleh logam cair dan biasanya diputar pada sumbu vertikal. Bila diperlukan dapat digunakan inti untuk menghasilkan produk cor yang berongga. Coran yang sulit dihasilkan melalui cara statis dapat dilakukan dengan metode ini, karena gaya sentrifugal dapat mengalirkan logam cair di bawah tekanan yang lebih tinggi jika dibandingkan pada pengecoran statis. Hal ini meningkatkan hasil coran dan menghasilkan coran berkualitas tinggi, bebas rongga dan porositas. Bagian coran yang lebih tipis dapat dibuat dengan metode ini. Aplikasi dari pengecoran semi sentrifugal adalah untuk membuat *gear blanks*, *pulley*, roda, *impellers* dan rotor motor listrik.

### 2.2.2 Centrifuging

*Centrifuging (pressure)* memiliki aplikasi yang paling luas. Pada metode ini, lubang coran disusun disekitar pusat sumbu putaran seperti jari-jari roda, sehingga memungkinkan produksi coran lebih dari satu. Gaya sentrifugal memberikan tekanan pada logam cair seperti yang terdapat pada pengecoran semi sentrifugal. Metode pengecoran ini khususnya digunakan untuk memproduksi *valve bodies*, *bonnet*, *plugs*, *yokes*, *brackets* dan

banyak lagi pada industri pengecoran lainnya.

### 2.2.3 True centrifugal

*True Centrifugal* digunakan untuk menghasilkan coran *turbular* atau silindris dengan memutar cetakan pada sumbunya sendiri. Hasil coran memiliki pembekuan terarah atau pembekuan dari bagian luar coran menuju sumbu putaran (sumbu rotasi). Pembekuan terarah ini menghasilkan coran berkualitas tinggi tanpa cacat penyusutan (*shrinkage*) yang merupakan penyebab utama cacat coran hasil cetakan pasir. Secara umum pengecoran sentrifugal tipe mendatar digunakan untuk membuat produk seperti pipa, bantalan luncur, silinder liner, cincin piston, rol, puly, plat kopling, dan lain-lain. Produk coran dengan bentuk tidak silinder atau tidak simetris, tidak dapat dibuat dengan menggunakan proses ini.

## 2.3 Kecepatan putar cetakan

Pada pengecoran sentrifugal, cetakan diputar pada putaran tertentu dan besarnya putaran yang diberikan pada praktisnya dinyatakan dengan grafitasi (G). 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, dimana gaya ini bekerja pada bagian diameter dalam dari coran tersebut.

Pada mesin cetak sentrifugal tegak lurus, biasanya digunakan untuk memproduksi coran yang diameter dalamnya dengan dan tanpa tirus. Putaran cetakan yang digunakan umumnya adalah 75G, yang didasarkan pada diameter dalam coran yang diproduksi. Pada kondisi ini akan terdapat tirus yang sangat kecil yang tidak kasat mata, atau tidak terdapat perbedaan yang nyata ketika dilakukan pemesinan.

Pada pembuatan coran silindris dengan mesin cetak sentrifugal ada

acuan khusus yang digunakan. Jika panjang coran yang diproduksi relatif pendek dibanding dengan diameter dalamnya maka dapat diproduksi pada mesin cetak sentrifugal tegak lurus. Dan jika panjang coran dua kali diameter dalamnya atau lebih, maka lebih baik diproduksi dengan mesin cetak sentrifugal mendatar.

Kecepatan putar cetakan yang paling rendah pada mesin cetak sentrifugal mendatar adalah 20G. Umumnya coran berbentuk silindris seperti pipa, dituang pada kecepatan putar cetakan sebesar 40G sampai dengan 60G. (Nathan Janco, 1992)

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 sentrifugal, karena grafitasi merupakan besaran yang tetap dengan arah yang mendatar.

#### **2.4 Metal Pickup**

Ketika logam cair dituangkan ke kaviti cetakan yang sedang berputar, logam cair tidak segera dapat terbawa seluruhnya dengan percepatan yang sama oleh cetakan. Kecepatan putar bertambah padanya akibat gesekan dari logam cair dengan cetakan. Setelah kaviti cetakan terisi, seluruh logam cair tersebut akan berputar akibat adanya gesekan antara permukaan cairan logam yang sedang berputar dengan logam cair yang akan terbawa (*pickup*), hal ini akan memberikan peluang adanya slip.

Dengan menambahkan kecepatan putar pada cetakan, dapat mengakomodir slip dan *raining* tapi di bawah kondisi getaran kritis, dengan bertambahnya putaran cenderung

memperhalus ukuran butiran dan juga memperbaiki kualitas diameter dalam dari tuangan. Pada putaran cetakan yang optimum, logam cair akan terbawa dengan cepat dan menempel dengan baik pada kaviti cetakan tanpa terjadi slip dan *raining*. Pada saat logam tersebut berada dalam cetakan, tekanan akan timbul secara radial pada tuangan yang terjadi akibat adanya gaya sentrifugal, dan membersihkan logam dari pengotor yang bukan logam.

#### **2.5 Cetakan Permanen**

Cetakan permanen adalah cetakan yang dapat digunakan berulang-ulang. Cetakan permanen dapat dibagi dua kategori yaitu cetakan yang terbuat dari grafit atau karbon dan cetakan yang terbuat dari logam seperti baja, besi cor dan tembaga. Cetakan yang terbuat dari grafit harganya lebih mahal dan masa pakainya relatif rendah yaitu sekitar 10 sampai dengan 100 kali. Cetakan yang terbuat dari besi tuang masa pakai berkisar antara 500 sampai dengan 1000 kali, harganya lebih murah tetapi tidak cocok bila dipakai dengan pendinginan air. Baja memiliki masa pakai yang lebih tinggi dan harganya tidak terlalu mahal jika dibanding dengan cetakan besi cor, cetakan yang terbuat dari baja cocok bila dioperasikan dengan pendinginan air, masa pakai berkisar antara 1000 sampai dengan 3000 kali.

#### **2.6 Bahan pelapis (*mould coating*)**

Bahan pelapis cetakan memiliki dua fungsi yaitu sebagai bahan pemisah antara coran dengan cetakan dan sebagai isolasi panas. Cetakan dilapisi dengan bahan pelapis dengan cara menyemprotkannya, ketika pengecoran dilakukan maka bahan pelapis ini berfungsi untuk menjaga agar logam cair tidak melekat pada rongga cetakan sehingga coran dapat dengan mudah dikeluarkan. Disamping itu bahan pelapis ini juga berfungsi sebagai isolator panas untuk mengurangi *chilling effect* pada coran. Bahan pelapis yang dapat digunakan pada pengecoran sentrifugal adalah bentonit, aluminum silikat dan zirkon.

**2.7 Penuangan (*pouring*)**

Suhu penuangan pada proses pengecoran statik dan sentrifugal dalam berbagai hal adalah relatif sama. Penuangan pada pengecoran sentrifugal dilakukan pada cetakan yang sedang berputar, logam cair dituangkan dengan kecepatan yang lebih besar dari kecepatan tuang pada pengecoran statik. Hal ini dimaksudkan untuk memberi tambahan energi pada logam cair tersebut untuk lebih mudah terbawa pada cetakan yang berputar. Pada kenyataannya suhu penuangan yang digunakan pada pengecoran sentrifugal lebih rendah dari pada suhu penuangan pengecoran statik.

*Raining* adalah fenomena jatuhnya tetesan logam cair dari atas rongga cetakan, hal ini dapat terjadi jika suhu tuang yang terlalu tinggi, *coating* terlalu halus dan putaran cetakan yang terlalu rendah. Suhu logam yang terlalu tinggi akan memberikan fluiditas cairan logam yang terlalu besar sehingga sulit segera terbawa sesuai dengan putaran cetakan.

**3. PROSEDUR PENELITIAN**

**3.1 Persiapan Peleburan**

Skrap besi cor kelabu yang digunakan sebagai bahan baku pada penelitian ini adalah skrap besi cor kelabu berupa skrap balik pada saat pembuatan besi cor kelabu jenis FC 300. Skrap ini berasal dari saluran tuang, pengalir, saluran masuk, penambah dan coran yang gagal. Bahan baku dan bahan paduan dilebur dan dijadikan menjadi material yang digunakan untuk membuat bahan silinder liner yaitu besi cor kelabu klas FC 300 dengan komposisi unsur pemadu yang terdiri dari karbon (C) = (2,95 - 3,10) %, silikon (Si) = (1,70 - 2,00) %, mangan (Mn) = (0,40 - 0,70) %, sulfur (S) <0,10 %, dan fospor (P) <0,20 % (JIS G.5501).

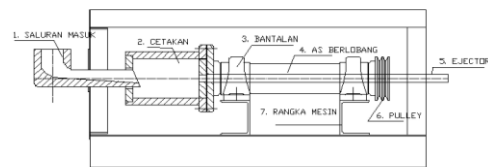
Pengeluaran cairan logam dari tanur listrik induksi dilakukan pada suhu 1450 °C, ditampung dengan menggunakan ledel dan dilakukan pengecoran pada mesin sentrifugal dengan suhu 1400 °C.

**3.2 Persiapan Mesin Sentrifugal**

Mesin cetak sentrifugal yang digunakan pada penelitian ini adalah mesin cetak sentrifugal mendatar dan dilengkapi dengan alat pengatur putaran, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.1. Persiapan yang dilakukan pada mesin sentrifugal mendatar antara lain: Pelapisan saluran masuk dengan memakai pasir kwarsa yang dicampur dengan *water glass*. Saluran masuk dan kaviti cetakan di-*coating* dengan bahan *zircon*. Pemasasan saluran masuk dan cetakan dengan memakai *burner*.

Spesifikasi mesin cetak sentrifugal:

- Tipe : Mendatar
- Kapasitas : Maksimum 25 kg
- Putaran Cetakan : 800 s/d 1800 rpm
- Cetakan : Diameter *cavity* 105 mm, panjang 165 mm



Gambar 3.1 Mesin cetak sentrifugal

**3.3 Variasi kecepatan putar cetakan**

Variabel kecepatan putar cetakan pada penelitian ini dipilih sebanyak enam variasi putaran yaitu putaran cetakan yang memberikan gaya sentrifugal pada coran sebesar: 20G, 30G, 40G, 50G, 60G, dan 70G. Berdasarkan bahan dan ukuran coran coran yang dibuat, maka putaran cetakan adalah: 900 rpm, 1100 rpm, 1300 rpm, 1450 rpm, 1600 rpm dan 1700 rpm.

**3.4 Prosedur pengoperasian mesin cetak sentrifugal**

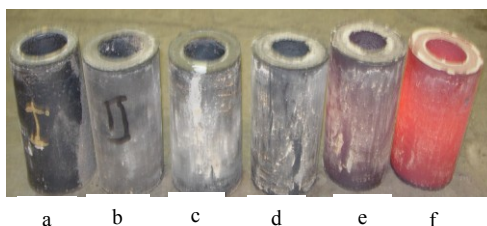
Untuk memperoleh bahan silinder liner dengan pengecoran sentrifugal, dilakukan prosedur sebagai berikut:

1. Pastikan elemen mesin terpasang dengan baik
2. Pastikan instalasi listrik tersambung dengan baik

3. Lapisan saluran dilapisi dengan zirkon dan dikeringkan dengan memakai *burner*
4. Cetakan dilapisi dengan zirkon dan dipanasi pada suhu 300 °C
5. Putar cetakan dengan putaran  $n_1 = 900$  rpm, yaitu dengan cara mengatur frekuensi arus listrik pada inverter sebesar 30 Hz. (frekuensi 1 Hz pada inverter memberikan putaran 30 rpm pada poros motor listrik)
6. Isi ladel dengan logam cair sebanyak 6,9 kg dengan suhu 1400 °C kemudian masukkan ke dalam cetakan melalui saluran masuk.
7. Biarkan logam cair membeku di dalam cetakan
8. Setelah logam cair membeku, dan pada suhu sekitar 500 °C mesin dimatikan.
9. Buka pintu mesin dan keluarkan coran dari dalam cetakan dengan mendorong ejektor, diperoleh sampel 1.
10. Untuk pembuatan sampel 2, 3, 4, 5 dan 6, prosedur 3 sampai 9 diulangi, tetapi dengan merubah prosedur 5 berturut-turut dari putaran cetakan sebesar  $n_2 = 1100$  rpm (36,67 Hz),  $n_3 = 1300$  rpm (43,33 Hz),  $n_4 = 1450$  rpm (48,33 Hz),  $n_5 = 1600$  rpm (53,33 Hz) dan  $n_6 = 1700$  rpm (56,67 Hz).

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bahan silinder liner yang diperoleh dari pengecoran melalui variasi putaran cetakan, ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Sampel bahan silinder liner

Gambar 4.1 a, b, c, d, e, dan f adalah bahan silinder liner yang dihasilkan berturut-turut pada putaran cetakan 900 rpm, 1100 rpm, 1300 rpm, 1450 rpm, 1600 rpm dan 1700 rpm, selanjutnya disebut sampel uji 1, 2, 3, 4, 5, dan 6.

Untuk melihat sifat mekanik dari coran yang dihasilkan, dilakukan pengujian. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian tarik, kekerasan dan metalografi.

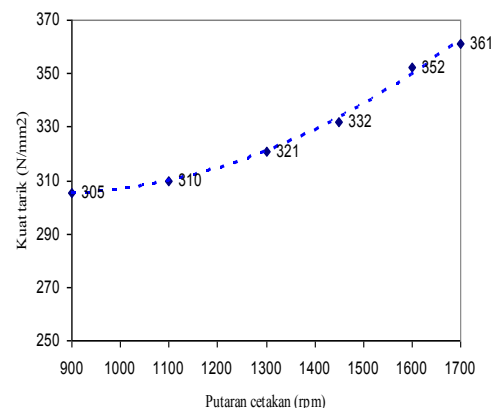
**4.1 Pengujian tarik**

Spesimen uji tarik dibuat dari sampel bahan silinder liner yang dihasilkan dari setiap variasi putaran cetakan. Spesimen uji tarik diperoleh dengan cara memotong sampel uji sejajar pada arah logitudinal dan dibentuk sesuai dengan standar DIN 50 109. Bentuk spesimen uji ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Spesimen uji tarik

Dari data hasil uji tarik dibuat grafik yang menggambarkan hubungan antara kuat tarik dengan putaran cetakan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Grafik kuat tarik vs Putaran

Dari grafik hubungan antara kuat tarik dan putaran cetakan (Gambar 4.3) dapat dilihat bahwa semakin besar

putaran cetakan yang diberikan pada pembuatan silinder liner, kuat tarik yang dihasilkan juga semakin besar. Meningkatnya kekuatan tarik ini sangat erat hubungannya dengan struktur yang terjadi pada bahan silinder liner. Putaran cetakan yang lebih tinggi akan memberikan tekanan yang lebih besar pada coran ketika coran tersebut membeku, sehingga kerapatan butir menjadi semakin kecil, kerapatan butir yang kecil akan memberikan kekuatan tarik yang lebih besar.

Kuat tarik dari spesimen uji yang paling kecil diperoleh dari putaran cetakan yang paling rendah dan kuat tarik spesimen yang paling besar diperoleh dari putaran cetakan yang paling tinggi. Pada putaran cetakan 900 rpm, kuat tarik spesimen adalah 305 N/mm<sup>2</sup> dan pada putaran cetakan 1700 rpm, kuat tarik spesimen adalah 361 N/mm<sup>2</sup>.

Jika dibanding dengan kuat tarik material FC 300, kuat tarik minimum adalah 300 N/mm<sup>2</sup> (JIS G 5501), maka seluruh bahan silinder liner yang dihasilkan pada setiap variasi putaran cetakan pada penelitian ini telah memenuhi persyaratan minimum untuk material FC 300.

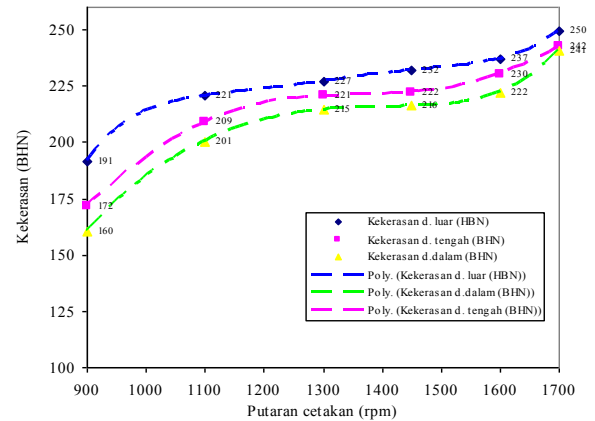
**4.2 Pengujian kekerasan**

Spesimen uji kekerasan diambil dari bahan silinder liner dengan cara dipotong melintang, permukaan potongan dibuat segaris dengan diameter specimen uji tarik, sehingga kekerasan yang di uji pada bagian ini lebih dekat terhadap hasil uji tarik.

Pengujian kekerasan dilakukan pada tiga titik is dengan jari-jari bahan liner, seperti ditunjukkan | - 4.4.



Gambar 4.4 Spesimen uji kekerasan



Gambar 4.5 Grafik kekerasan vs Putaran cetakan

Dari grafik hubungan kekerasan dengan putaran cetakan (Gambar 4.5), ditemukan bahwa:Angka kekerasan Brinell pada spesimen uji kekerasan dari bahan silinder liner meningkat dari bagian diameter dalam ke bagian diameter luar. Peningkatan angka kekerasan ini dapat terjadi karena pada saat pembuatan bahan silinder liner, bahagian diameter luar dari coran bersentuhan langsung dengan cetakan yang terbuat dari logam. Karena laju kecepatan pendinginan pada diameter luar coran lebih tinggi dibanding dengan bagian diameter dalam, menghasilkan grafit dan struturmikro yang semakin halus. Semakin halus ukuran grafit dan semakin halus struktur mikro maka kekerasan akan semakin tinggi.

Putaran cetakan yang semakin tinggi mengakibatkan gaya sentrifugal yang terjadi pada coran juga semakin besar. Semakin besar gaya sentrifugal maka gaya yang diterima oleh partikel-partikel dalam logam cair akan semakin besar. Partikel yang mempunyai densiti yang lebih besar akan bergerak menuju diameter luar dan partikel dengan densiti yang lebih kecil akan tersisihkan pada daerah diameter dalam. Pada saat coran membeku, jumlah grafit pada bagian diameter luar dari coran akan berkurang, dan porositas juga akan berkurang sehingga kekerasan menjadi semakin meningkat.



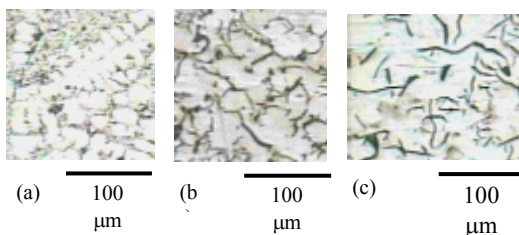
### 4.3 Pengujian metalografi

Spesimen uji metalografi yang telah dipoles dengan menggunakan *alumina powder*, diletakkan di bawah mikroskop dan dilakukan pengamatan terhadap grafit yang terjadi pada tiga titik yaitu pada daerah bagian diameter sebelah luar, diameter tengah dan diameter dalam (tidak menggunakan bahan etsa). Setelah dilakukan pengamatan spesimen uji metalografi tanpa menggunakan etsa, spesimen tersebut dietsa dengan menggunakan bahan nital 3 %, spesimen uji diletakkan di bawah mikroskop dan dilakukan pengamatan terhadap matrik yang terjadi pada tiga titik yaitu pada daerah bagian diameter luar, diameter tengah dan diameter dalam, spesimen uji metalografi ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 Spesimen uji metalografi

Hasil yang diperoleh pada pengujian ini adalah foto grafit dan struktur mikro yang terjadi pada spesimen 1, tanpa etsa ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Foto struktur mikro dari spesimen uji metalografi 1, pada putaran cetakan 900 rpm, tidak dietsa, pembesaran 100 kali.

- diameter luar, grafit ID6
- diameter tengah, grafit IB5
- diameter dalam, grafit IA4

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Bahan silinder liner yang diuji pada penelitian ini adalah coran yang berbentuk silinder berongga yang dihasilkan melalui pengecoran sentrifugal mendatar dengan memvariasikan putaran cetakan, dibuat dari material FC 300 dengan ukuran diameter luar 105 mm, diameter dalam 60 mm dan panjangnya 165 mm. Banyaknya variasi putaran cetakan yang dilakukan adalah enam variasi yaitu pada putaran cetakan sebesar 900, 1100, 1300, 1450, 1600 dan 1700 rpm.

Setelah dilakukan tiga jenis pengujian terhadap bahan silinder liner ini yaitu pengujian tarik, kekerasan dan metalografi, diperoleh kesimpulan:

- Putaran optimum yang dapat digunakan pada pembuatan bahan silinder liner yang terbuat dari material FC 300 dengan diameter dalam coran 60 mm berkisar antara 1100 sampai dengan 1450 rpm.
- Semakin tinggi putaran cetakan yang digunakan, semakin besar kekuatan tarik dan kekerasan dari coran yang dihasilkan.
- Kekerasan coran pada bagian diameter luar lebih tinggi dari kekerasan coran pada bagian diameter dalam.
- Struktur mikro yang terjadi pada setiap sampel uji adalah perlit dan tidak terdapat sementit

### 5.2 Saran

Pengecoran sentrifugal mendatar sangat cocok digunakan untuk memproduksi coran yang berbentuk silinder berongga dan hampir semua jenis logam dapat dicor dengan dengan pengecoran sentrifugal mendatar.

Dibanding dengan pengecoran lainnya, pengecoran sentrifugal mendatar memiliki keuntungan seperti:

- Coran relatif bebas dari cacat
- Pengotor yang bukan logam akan bergerak ke permukaan diameter dalam dan mudah

- dikeluarkan dengan cara pemésinan
3. Perbandingan volume coran dengan volume logam cair yang digunakan relatif tinggi
  4. Memiliki sifat-sifat mekanis yang lebih baik
  5. Produktifitas tinggi
  6. Dapat digunakan untuk membuat coran dengan material berlapis (*bimetal*)

Untuk menghasilkan silinder liner pada pengecoran sentrifugal dengan menggunakan material FC 300 yang bermutu baik, disarankan perlu melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Melakukan pemilihan tanur peleburan yang sesuai sehingga dapat dilakukan pengaturan komposisi material yang diinginkan.
2. Menggunakan mesin cetak sentrifugal dengan putaran cetakan yang dapat diatur sehingga putaran cetakan dapat dipilih sesuai dengan diameter coran yang diproduksi (40G s/d 60G)
3. Melapisi cetakan dengan bahan pelapis zirkon
4. Memanaskan cetakan sampai pada suhu sekitar 300 °C
5. Melakukan pengecoran pada suhu 1400 °C

- [5] Jian Zhang, Zhongyun Fan, Yuqing Wang, Berlian Zhou. Hypereutectic aluminium alloys tubes with graded distribution of Mg<sub>2</sub>Si particles prepared by centrifugal casting. China, 1999.
- [6] Kalpakjian, Schmid. Manufacturing Processes for Engineering Material. Prantice Hall, 2003.
- [7] Karsay Stephen Istvan, Ductile Iron Production I Practices. Canada, 1982.
- [8] Karsay Stephen Istvan, Ductile Iron Production Practices. USA: American Foundrymen's Society, 1985.
- [9] Nathan Janco, Centrifugal Casting. USA, 1992.
- [10] Smallman R.E., Bishop R.J. Metalurgi Fisik Modern & Rekayasa Material Jakarta: Erlangga, 1999.
- [11] Saito Shinroku. Pengetahuan Bahan Teknik. Jakarta: Pradnya Paramita, 1999.
- [12] Tata Surdia, Kenji Chijiwa. Teknik Pengecoran Logam. Jakarta: Pradnya Paramita, 1975.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Atlas of Microstructures of Industrial Alloys. American society for metals, 1972
- [2] Gere & Tismoshenko. Mekanika Bahan. Jakarta: Erlangga, 1996.
- [3] Heine Richad W., Carl R. Loper Jr., Rosenthal Philip C. Principles of Metal Casting. New York: Mc Graw-Hill Book Company, 1967.
- [4] Hiroski Kubo, Hiroaki, Susan Forjami, Tadakatsu Meruyama. Characteristics of Fe-Mn-Si-Cr shape memory alloys in centrifugal casting. Tokyo, 2006.