

Analisa Kekerasan dan Keausan *Cylinder Sleeve* dari Besi Cor Kelabu FC250 Hasil *Sand Mold Casting*

(1)*Sumpena, (2)Hb. Sukarjo, (3)Wardoyo, (4)Saksono Singgih Pramana

(1,2,3,4)Program Studi Teknik Mesin, Universitas Proklamasi 45Yogyakarta
Jl. Proklamasi No.1, Babarsari, Sleman, Yogyakarta

*Email: sumpenast@yahoo.co.id

Diterima: 28.10.2021 Disetujui: 26.11.2021 Diterbitkan: 30.11.2021

ABSTRACT

Cylinder sleeve is an engine component that is mounted on the cylinder block which functions as a piston glide base. The cylinder sleeve is made of FC250 gray cast iron. FC250 is a gray cast iron that has lamellar graphite with a tensile strength of at least 250 MPa. This study aims to determine the mechanical properties of hardness and wear of the Cylinder Sleeve made of gray cast iron FC250. The method used in this research is gray cast iron which is cut with a length of 5.5cm, thickness 0.7cm, height 0.7cm which is formed according to the standard size of the hardness and wear test. The tests carried out include testing the brinell hardness and wear. The results showed that the lowest hardness value was 134.63BHN and the highest hardness value was 191.43BHN. The increase in hardness values is influenced by the carbon content that cannot be spread evenly, which is followed by a fast cooling rate. The results of the wear test obtained the lowest price of 0.00017mm³/kg.m and the highest wear price of 0.00028 mm³/kg.m.

Keywords : *Cylinder Sleeve, Hardness, Wear*

ABSTRAK

Cylinder sleeve adalah komponen mesin yang dipasang pada blok silinder yang berfungsi sebagai landasan luncur piston. *Cylinder sleeve* terbuat dari bahan besi cor kelabu FC250. FC250 merupakan besi cor kelabu yang memiliki grafit berbentuk lamelar yang memiliki kekuatan tarik minimal 250 MPa. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis kekerasan dan keausan dari *Cylinder Sleeve* berbahan besi cor kelabu FC250. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah besi cor kelabu hasil pengecoran yang dipotong dengan ukuran panjang 5,5cm, tebal 0,7cm, tinggi 0,7cm yang dibentuk sesuai ukuran standar uji kekerasan dan keausan. Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian kekerasan *brinell* dan keausan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa harga kekerasan terendah yang didapat sebesar 134,63BHN dan harga kekerasan tertinggi sebesar 191,43BHN. Peningkatan harga kekerasan dipengaruhi oleh kandungan karbon yang tidak dapat menyebar secara merata, yang diikuti dengan adanya laju pendinginan yang cepat. Hasil uji keausan didapat harga terendah sebesar 0,00017mm³/kg.m dan harga keausan tertinggi sebesar 0,00028 mm³/kg.m.

Kata kunci : *Cylinder Sleeve, Kekerasan, Keausan*

I. Pendahuluan

Mesin yang digunakan pada motor bensin dan motor diesel adalah mesin jenis gerak bolak balik (*reciprocating engine*). Komponen dasar dari mesin ini terdiri dari mekanisme engkol dan piston yang komponen utamanya meliputi: blok silinder, piston, batang piston dan poros engkol. Agar mesin dapat berfungsi dengan baik konstruksi mesin terdiri dari komponen utama mesin dan komponen kelengkapan mesin. Komponen utama mesin terdiri dari blok mekanisme piston, poros engkol, *fly wheel*, mekanisme katup, silinder,

kepala silinder, *cylinder sleeve*, dan ring piston. (Rabiman, 2017)

Cylinder sleeve adalah sebuah silinder berlubang yang dilekatkan dan terpasang erat pada blok silinder. Di dalam *cylinder sleeve* terdapat piston yang akan bekerja dengan cara bergerak cepat bolak-balik di dalam *cylinder sleeve* di bawah tekanan pembakaran. Dinding silinder piston bergerak memandu, menerima pembakaran tekanan, dan menyampaikan panas pembakaran ke luar mesin. (Widiyarta, I. M. dan K. Adiatmika. 2012).

Piston yang bergerak bolak-balik mengakibatkan keausan dan keretakan pada dinding *cylinder sleeve* bagian dalam,

hal ini akan menimbulkan penambahan kelonggaran antara torak dan silinder, sehingga dapat menyebabkan kebocoran gas, tekanan kompresi berkurang dan tenaga yang dihasilkan juga berkurang. Agar keausan dan keretakan *cylinder sleeve* tidak terlalu banyak maka diupayakan bahan yang digunakan tahan aus dan juga tahan terhadap panas. Bahan untuk *cylinder sleeve* sebaiknya dipakai besi cor kelabu. (Tri Tjahjono, 2005).

Akibat tekanan di dalam ruang bakar yang tinggi dan juga panas, maka material dari *cylinder sleeve* sangat berpengaruh pada kualitas dan ketahanan *cylinder sleeve* tersebut. Besi cor merupakan material yang sering digunakan dalam banyak bidang industri terutama industri otomotif. Besi cor mempunyai beberapa jenis salah satunya adalah besi cor kelabu (Fe-C). Besi cor kelabu merupakan salah satu material teknik yang paling banyak digunakan karena proses pembuatan yang mudah, namun mampu diproduksi secara masal, dan biaya yang kompetitif. Dalam proses peleburan besi cor kelabu menggunakan bahan baku diantaranya besi kasar (*pig iron*), besi scrap, baja scrap, dan bahan paduan lain yang memiliki keragaman komposisi. Meskipun banyak menawarkan keuntungan, tetapi terdapat beberapa kekurangan yaitu sifat mekaniknya yang tidak setinggi baja. Besi cor kelabu juga memiliki kekurangan yaitu keuletan yang rendah atau getas. Getas pada besi cor dikarenakan oleh penyebaran grafit yang tidak merata dan cacat pada proses pengecoran.

Proses pengecoran logam di industri biasanya menggunakan dua cara yaitu proses pengecoran menggunakan cetakan pasir dan proses pengecoran menggunakan cetakan logam. Kenyataannya dalam dunia industri sering menggunakan proses pengecoran menggunakan cetakan pasir yang dinilai lebih sederhana dan tidak membutuhkan biaya banyak, namun dengan cetakan pasir tidak bisa menghasilkan material yang memiliki ketelitian yang baik. (Priyono, Y. D. 2019)

FC25 merupakan besi cor kelabu yang memiliki grafit berbentuk lamelar yang memiliki kuat tarik minimal 250 MPa. Besi cor kelabu merupakan material yang banyak digunakan di industri karena memiliki beberapa keuntungan, diantaranya mudah dituang dalam bentuk yang rumit, mudah

dilakukan proses permesinan, mampu meredam getaran dengan bagus, ketahanan aus yang rendah, kekuatan yang cukup tinggi dan harganya relatif murah. Kekurangan dari pemakaian besi tuang kelabu adalah karena sifatnya yang rapuh dan lemah terhadap gaya tarik. Sebagai tambahan terhadap kadar karbon yang tinggi (>1,7%), besi tuang juga mempunyai kadar silikon yang tinggi, dengan presentase sulfur dan mangan yang rendah, dan pada kondisi tertentu *pearlite* bisa terurai menjadi *graphite* dan *ferrite*. *Graphite* yang berbentuk serpihan-serpihan tipis terbagi merata dalam seluruh struktur, memberi warna keabu-abuan karena itu disebut besi tuang kelabu. (Gumelar, dkk, 2019)

Bentuk *cylinder sleeve* adalah bentuk silindris berongga, apabila pembuatannya dilakukan dengan cara pengecoran statik pada cetakan pasir maka diperlukan cetakan pasir untuk membentuk bagian luar *cylinder sleeve* dan inti atau *core* untuk membentuk bagian dalam *cylinder sleeve* (rongga). Untuk mengalirkan logam cair ke dalam cetakan dibuat sistim saluran seperti cawan tuang, saluran turun pengalir, saluran masuk, dan riser.

Pada pengecoran dengan cetakan pasir, laju pembekuan tergolong lambat sehingga karakteristik *cylinder sleeve* yang dihasilkan cenderung memiliki butiran yang kasar yang mengakibatkan kuat tarik dan kekerasan coran yang relatif rendah. Selain itu pada pengecoran statik dengan cetakan pasir sering terjadi rongga penyusutan dalam (*internal shrinkage*) dan pengotor bukan logam (*non metallic inclusions*) terdapat pada coran (Tata Surdia, 1975).

Sadino, dkk .2016, melakukan penelitian mengenai ketahanan aus dan struktur mikro *cylinder liner* FC25 dengan penambahan 0,25% tembaga (Cu). Pada pengujian komposisi kimia dihasilkan kandungan unsur terbesar adalah Al 76,140% dan silikon 13,898%. Dengan kandungan silikon <12% menempatkan blok silinder aluminium dan silikon berada pada fasa hipereutektik. Besar nya nilai keausan produk *cylinder liner* dengan penambahan tembaga 0,25% sebesar 0,0373 cm³. Meningkat 30,41% dibandingkan dengan produk *cylinder liner* tanpa penambahan tembaga. Pada pengujian kekerasan (brinell) nilai kekerasan produk *cylinder liner* dengan penambahan tembaga 0,25% adalah sebesar 195,3 BHN. Menurun 12,42% dibandingkan

dengan produk *cylinder liner* tanpa penambahan tembaga. Pada pengujian keausan (Ogoshi) menunjukkan bahwa peningkatan keausan serta penurunan nilai kekerasan produk *cylinder liner* FC25 diakibatkan oleh terjadinya perubahan struktur mikronya. Apabila ditinjau dari struktur mikronya produk *cylinder liner* FC25 dengan penambahan 0,25% tembaga dapat merubah grafit tipe A dan tipe B menjadi tipe D yang memiliki pola interdendritik. Dimana pola interdendritik ini memiliki volume grafit yang lebih besar dibandingkan tipe A dan B. Penambahan sebesar 0,25% tembaga pada *cylinder liner* ternyata belum efektif dalam peningkatan matriks pearlit yang akan berakibat pada penurunan keausan dan peningkatan kekerasan.

Widiyarta dan Adiatmika, (2012) telah melakukan penelitian pada keausan *cylinder sleeve* akibat beban kontak luncur ring piston, dari hasil uji aus material *cylinder sleeve* akibat kontak kering selama 20 jam pembebanan dengan tekanan 0.8 MPa terlihat keausan yang terjadi cukup besar yaitu 0.71 gram dan tingkat keausan (massa yang hilang per jam) cenderung konstan yaitu sekitar 0.03-0.04 gram per jam. Hal ini menunjukkan tidak terjadinya perubahan sifat mekanis pada material *cylinder sleeve* akibat beban gesek oleh ring piston.

Penelitian ini mempunyai tujuan menganalisa kekerasan dan keausan *cylinder sleeve* dari besi cor kelabu FC250 hasil *sand mold casting*.

II. Bahan dan Metode

Dalam penelitian ini bahan utama yang digunakan untuk pembuatan benda uji adalah *cylinder sleeve* dari bahan dasar besi cor kelabu. Yang berasal dari Koperasi Batur Jaya, Ceper, Klaten. Bahan tersebut nantinya akan di uji untuk mengetahui struktur mikro dan ketangguhan nilai *impact* yang ada pada *cylinder sleeve* berbahan besi cor kelabu FC250 hasil pengecoran cetakan pasir. Adapun sampel yang dibuat meliputi :

- a. Sampel uji komposisi : 1 Buah
- b. Sampel uji kekerasan : 4 Buah
- c. Sampel uji keausan : 4 Buah



Gambar 1. Silinder sleeve hasil pengecoran

Cylinder sleeve dengan jumlah 1 buah, yang memiliki panjang 30cm dengan diameter luar 8,2cm diameter dalam 6,9cm Dan tebal dinding cylinder 1,3cm, akan dipotong menggunakan gergaji sebagai specimen benda uji. Untuk specimen yang akan digunakan sebagai pengujian komposisi kimia, dibuat bentuk persegi dengan tebal 1cm panjang 5,5cm lebar 1cm sebanyak 1buah. Specimen pengujian komposisi kimia ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Spesimen Pengujian Komposisi Kimia

Untuk specimen yang akan digunakan sebagai pengujian kekerasan (*hardness*), dibuat bentuk persegi dengan tebal 1cm panjang 5,5cm lebar 1cm sebanyak 4buah. Specimen pengujian kekerasan ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Spesimen Uji Kekerasan

Untuk specimen yang akan digunakan sebagai pengujian keausan, dibuat bentuk persegi dengan tebal 1cm panjang 5,5cm lebar 1cm

sebanyak 4 buah. Spesimen pengujian keausan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Spesimen Pengujian Keausan

Pengujian komposisi kimia berguna untuk mengetahui kandungan unsur (komposisi kimia) *cylinder sleeve* dari bahan besi cor kelabu FC250. Pengujian kekerasan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan metode Brinnell. Alat yang digunakan untuk melakukan pengujian kekerasan yaitu *Universal Hardness Test*. Sebelum melakukan pengujian, terlebih dahulu menentukan indenter bola. Indenter yang digunakan memiliki diameter sebesar 2,5mm. Setelah menentukan indenter yang digunakan kemudian menentukan pembebanan yang akan diberikan terhadap spesimen uji, besarnya pembebanan yang diberikan adalah sebesar 62,5 kgf. Lama waktu pemberian beban tekan pada spesimen uji adalah selama kurang lebih 30 detik dan dilakukan beberapa kali penekanan untuk setiap spesimen uji. Besarnya nilai kekerasan dapat dihitung dengan menggunakan perhitungan sebagai berikut :

$$BHN = \frac{2P}{\pi D \{D - \sqrt{D^2 - d^2}\}} \dots\dots\dots 1$$

Keterangan :

BHN = *Brinell Hardness Number (kg/mm²)*

P = Gaya tekan (*kg*)

D = Diameter indenter (*mm*)

d = Diameter indentasi (*mm*)

Pengujian keausan dalam penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai ketahanan aus pada spesimen uji dengan menggunakan mesin *Universal Wear Machine* Bahan uji atau spesimen uji mendapat beban gesekan dari disk berdiameter 13,6 mm yang berputar (*revolving disc*) selama 1 menit. Kontak antar

permukaan antara disc dan permukaan spesimen akan menghasilkan jejak bekas gesekan, besar jejak tersebut yang kemudian dijadikan dasar penentuan nilai keausan (Ratna, 2017). Besarnya laju keausan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$Ws = \frac{B.b^3}{8.r.p.lo} \dots\dots\dots 2$$

Keterangan :

p = Gaya tekan pada proses keausan berlangsung (*kg*)

lo = jarak tempuh pada proses pengausan (*mm*)

Ws = Harga kesesuaian spesifik (*mm²/kg*)

B = Tebal *revolving disc* (*mm*)

R = Jari-jari *disc* (*mm*)

b = Lebar celah material yang terabrasi (*mm*)

III. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Pengujian Komposisi Kimia

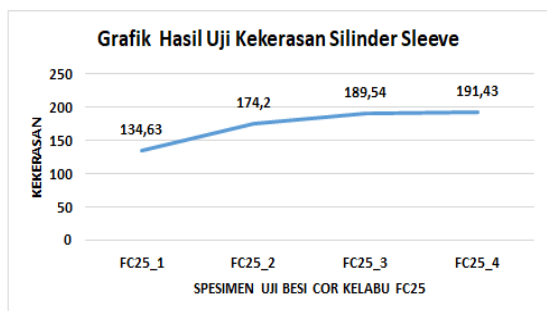
Sebelum melakukan pengujian kekerasan dan keausan, terlebih dahulu dilakukan pengujian komposisi terhadap benda uji yang akan diteiliti, yaitu Besi Cor Kelabu (FC250). Setelah dilakukan pengujian komposisi spesimen Besi Cor Kelabu (FC250) dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel. 1 Komposisi Kimia FC250

Unsur Kimia	% Kandungan
Karbon (C)	3,4120
Silikon (Si)	2,2185
Mangan (Mn)	0,6293
Posphor (P)	0,0227
Sulfur (S)	0,0485
Tembaga (Cu)	0,3036
(Sn)	0,0089
Crom (Cr)	0,0326
Nikel (Ni)	0,0165
Aluminium (Al)	0,0086
Seng (Zn)	0,0042

2. Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan *Brinell* ini bertujuan untuk mendapatkan atau mengetahui nilai kekerasan *Cylinder Sleeve* berbahan material Besi Cor Kelabu (FC250). Pembebanan yang diberikan pada uji kekerasan *Brinell* ini adalah 62,5 kgf, dengan diameter indentor bola baja 2,5mm. Hasil dari pengujian kekerasan ini dapat dilihat pada grafik Gambar 5.



Gambar 5. Grafik pengujian kekerasan *Cylinder Sleeve*

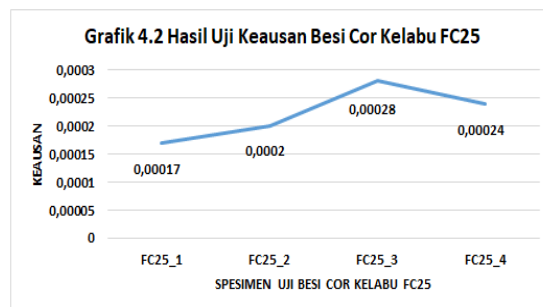
3. Pembahasan Pengujian Kekerasan

Dari hasil pengujian kekerasan spesimen 1 sampai dengan 4 secara berurutan diperoleh harga sebagai berikut 134,63BHN, 174,20BHN, 189,54BHN, 191,43BHN. Besarnya nilai kekerasan yang distandarkan oleh Koperasi Batur Jaya adalah 171BHN sampai 219BHN. Dari data yang diperoleh, hanya spesimen 1 yang tidak memenuhi standar, disebabkan karena pada saat dilakukan pengujian spesimen yang pertama, pijakan indentor pada alat uji tidak berada tepat ditengah spesimen uji atau tidak memenuhi batas minimal standar uji *Brinell*, dimana standar minimal uji *Brinell* yang ditentukan adalah sebesar 6mm, bila dibagi 2 artinya titik pijakan harus minimal 3mm. Hal ini berarti spesimen uji yang pertama tidak valid, dikarenakan kesalahan pada saat pengujian. Untuk spesimen uji yang kedua, ketiga dan keempat secara standar uji *Brinell* sudah sesuai, maka kekerasan menjadi meningkat sangat signifikan. Peningkatan kekerasan ini juga dipengaruhi oleh kandungan karbon yang terdapat pada setiap spesimen tersebut, kemungkinan yang terjadi pada spesimen pertama, memiliki kadar karbon yang lebih rendah serta diikuti dengan proses pendinginan yang lambat dibandingkan dengan spesimen kedua, ketiga dan keempat. Dimana pada spesimen kedua, ketiga dan keempat terjadi adanya perubahan laju pendinginan yaitu pendinginan yang cepat. Hal ini dapat

berakibat pada karbon yang dihasilkan pada spesimen tersebut jauh lebih banyak karena atom karbon pada spesimen tersebut tidak dapat berdifusi keluar dan terjebak di dalam struktur kristal yang menyebabkan ruang kosong antar atomnya kecil. Proses pendinginan cepat yang terjadi pada spesimen kedua, ketiga dan keempat tersebut karena pengambilan spesimen uji dari raw material dibagian bawah yang bersentuhan langsung dengan pasir yang pada saat pengecoran keadaan pasir tersebut basah dan raw material yang dicor pada bagian tersebut juga tipis.

4. Hasil Pengujian Keausan

Pengujian keausan ini menggunakan alat uji *Universal Wear*, tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk mendapatkan atau mengetahui nilai keausan *Cylinder Sleeve* berbahan material Besi Cor Kelabu (FC250). Pembebanan yang diberikan pada uji keausan ini adalah 6,36 kg, dengan jarak pengausan sejauh 15m, artinya apabila disc dibentangkan memiliki jarak sejauh 15m. Hasil dari pengujian keausan ini dapat dilihat pada grafik Gambar 6.



Gambar 6. Grafik pengujian keausan *Cylinder Sleeve*

5. Pembahasan Pengujian Keausan

Pada pengujian keausan ini diambil secara acak pada spesimen uji kekerasan. Nilai keausan terendah adalah 0,00017mm³/kg.m dan nilai keausan tertinggi adalah 0,00028mm³/kg.m. Proses naik turun nya nilai keausan disini tidaklah terlalu signifikan, Nilai keausan terendah adalah 0,00017mm³/kg.m ini diakibatkan karena adanya kandungan karbon yang tinggi pada spesimen tersebut. Peningkatan keausan terjadi pada spesimen uji yang kedua dan ketiga, ini dapat terjadi karena kandungan karbon pada spesimen tersebut mulai berkurang, akibat adanya pendinginan

cepat, dimana pada proses pendinginan cepat meningkatkan karbon namun hanya dibagian tertentu, selain itu kemungkinan yang terjadi pada spesimen tersebut terdapat porositas akibat dari aliran cairan yang tidak sempurna, yang menyebabkan adanya rongga udara pada spesimen tersebut. Sehingga rongga udara yang terbentuk pada spesimen tersebut sebetulnya tidak terkena putaran disc, namun setelah dilihat, spesimen tersebut mengikuti perhitungan. Selain itu peningkatan keausan terjadi, disebabkan karena adanya kavitasi pada saat proses pengecoran maupun adanya kesalahan pada saat melakukan pembentukan spesimen uji, sehingga permukaan spesimen tidak rata, yang menyebabkan hasil uji gesek juga tidak maksimal.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Kekerasan produk *Cylinder Sleeve* berurutan adalah 134,63 BHN, 174,20 BHN, 189,54 BHN, 191,43 BHN, standar kekerasan yang dianjurkan adalah 171 BHN sampai 219 BHN, rata-rata kekerasan didapat 172,45 BHN, artinya *Cylinder Sleeve* ini sudah memenuhi batas minimal standar yang dianjurkan dan dapat diproduksi.
2. Keausan produk Silinder Sleeve terendah adalah 0,00017 mm³/kg.m, dan harga keausan tertinggi sebesar 0,00028mm³/kg.m, nilai keausan berubah ubah karena spesimen sampel uji diambil secara acak, serta adanya kavitasi pada saat pengecoraan.
3. Harga rata-rata keausan adalah 0,00022 mm³/kg.m dan harga rata-rata kekerasan didapat 172,45BHN, memenuhi syarat dan dapat digunakan karena semakin tinggi nilai kekerasan maka nilai keausan akan semakin rendah.

Daftar Pustaka

Gumelar, M. S., Widiyanti, K. D., & Zaelana Mu, M. I. (2019). Karakterisasi Dan Perbandingan Material Fcd700 & Fc250 Untuk Boiler Chain Grate. Thesis: *Institutional Repositories And*

Scientific Journals Universitas Pasundan.

- Mujiyono. (2009). *Pengecoran Logam*. Yogyakarta: Teknik Pengecoran Logam Uny.
- Oktavianto, D. D. (2019). *Analisa Pengaruh Variasi Media Pendingin Terhadap Kekerasan Dan Struktur Mikro Besi Cor Kelabu Fc25 Dengan Mangan 1,2%*. Yogyakarta: Thesis Universitas Sanata Dharma.
- Pratowo, B., & Kunarto. (2011). Peningkatan Kekerasan Dan Ketahanan Aus Permukaan Besi Cor Kelabu Melalui Proses Boronisasi. *Momentum, Vol 7, 18-23.*
- Purnomo, D. S. (2015). *Studi Komparasi Karakteristik Piston Sepeda Motor 4 Tak Dan 2 Tak*. Thesis: Universitas Negeri Semarang.
- Rao, V. (2019). *Perkembangan Dan Kemajuan Otomotif Di Indonesia*. Retrieved From Jasana Prima: <https://Jasanaprima.Id/Perkembangan-Dan-Kemajuan-Otomotif-Di-Indonesia/>
- Setyawan, L. D. (2015). Studi Ukuran Grafit Besi Cor Kelabu Terhadap Laju Keausan Pada Produk Blok Rem Metalik Kereta Api. *Jurnal Material Teknologi Proses, Vol 1; No 1, 19-24.*
- Situngkir, H. (2009). Pengaruh Putaran Cetakan Terhadap Sifat Mekanik Besi Cor Kelabu Pada Pembuatan Silinder Liner Mesin Otomotif Dengan Pengecoran Sentrifugal Mendatar. *Jurnal Dinamis Vol 2 No 4, 20-28.*
- Sudjana, H. (2008). *Teknik Pengecoran Jilid 1*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- Sadino, M., Moh Farid, D., & Arifin, S. (2016). Analisa Ketahanan Aus,

Kekerasan Dan Struktur Mikro Pada Cylinder Liner Fc 25 Dengan Penambahan 0,25% Tembaga (Cu). *Jurnal Teknik Material Metalurgi Its*, 1-8.

Tata, S., & Kenji, C. (1975). *Teknik Pengecoran Logam*. Jakarta: Pradnya Paramita.

Tjahjono, T. (2005). Analisis Keausan Pada Dinding Silinder Mesin Diesel. *Media Mesin Vol 6 No 2*, 78-83.

Wibowo, A. D., Wijayanto, D. S., & Harjanto, B. (2012). Pengaruh Variasi Jenis Cetakan dan Penambahan Serbuk Dry Cell Bekas Terhadap Porositas hasil Remelting Al-9%Si Berbasis Piston Bekas. *Jurnal Teknik Mesin Uns*, 1-16.

Wibowo, D. B., Umardhani, Y., & Sugiarto, D. (2012). Pengaruh Kuat Medan Magnet Terhadap Struktur Mikro Dan Kekerasan Besi Cor Kelabu. *Rotasi Jurnal Teknik Mesin, Vol 14*, 10-15.