

## Karakterisasi material sepatu rem sepeda motor berbahan Al-Si hasil pengecoran injeksi bertekanan dan proses perlakuan panas

A. P. Bayuseno\* dan Agus Tri Prasetyo

Jurusan Teknik Mesin-Fakultas Teknik-Universitas Diponegoro

Kampus Tembalang Semarang 50255, Indonesia

\*Corresponding author: apbayuseno@gmail.com

### Abstrak

Dengan semakin meningkatnya jumlah sepeda motor maka kebutuhan komponen sepatu rem juga semakin meningkat. Hal ini mendorong para pengusaha Industri Kecil Menengah (IKM) untuk memproduksi komponen tersebut. Namun demikian kualitas produknya tidak mampu bersaing dengan produk original/pabrikan karena sifat mekaniknya masih rendah. Oleh sebab itu perlu dilakukan perbaikan sifat mekanik dengan menerapkan teknik pengecoran injeksi bertekanan (HPDC-high pressure die casting) dan proses laku panas (*heat-treatment*). Didalam makalah ini disajikan hasil penelitian dalam memproduksi sepatu rem dengan metode pengecoran HPDC. Tujuan penelitian ini adalah (a) dapat mengukur sifat fisik dan mekanik material sepatu rem hasil proses HPDC, (b) dapat membandingkan sifat fisik dan mekanik material hasil proses HPDC dengan produk pabrikan, (c) Melakukan proses laku panas pada produk material sepatu rem hasil proses HPDC. Kegiatan penelitian meliputi pembuatan spesimen sepatu rem dengan proses pengecoran HPDC, proses perlakuan panas dan pengujian sifat fisik maupun mekanik spesimen. Material yang digunakan dalam pengecoran adalah paduan Al-Si (ADC 12). Suhu peleburan dipilih pada 700 °C, 750 °C dan 800 °C. Perlakuan panas yang dilakukan adalah *age hardening* dan *solution treatment* pada suhu 490 °C selama 15 menit dan *artificial aging* 150 °C selama 4 jam. Pengujian sifat material yang dilakukan meliputi: porositas, kekerasan, dan struktur mikro. Hasil porositas yang diperoleh pada suhu peleburan diatas berturut-turut 13,10 %, 11,37 % dan 11,09 %. Sedangkan harga kekerasan tertinggi didapat 43,33 HRB pada suhu peleburan 700 °C. Dengan proses perlakuan panas pada produk coran dapat meningkatkan harga kekerasan sampai 46,39 HRB dimana produk coran tersebut memiliki besar butir (*grain size*) rata-rata yaitu 0,0370 mm<sup>2</sup>. Akan tetapi harga kekerasan material produk coran sepatu rem masih dibawah harga kekerasan material produk sepatu rem hasil fabrikan, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan dalam mengoptimalkan kondisi proses pengecoran.

**Kata Kunci:** Sepatu rem sepeda motor, Paduan Al-Si, Pengecoran HPDC dan Perlakuan Panas

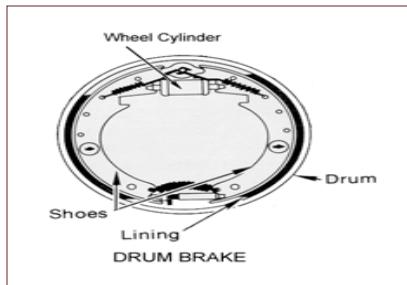
### 1. Pendahuluan

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan akan alat transportasi maka industri otomotif dalam

negeri khususnya sepeda motor terus memacu produksinya. Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia

(AISI) [2010] produksi sepeda motor pada tahun 2007 sebanyak 4,7 juta, tahun 2008 sebanyak 6,28 juta, tahun 2009 sebanyak 5,8 juta, tahun 2010 sebanyak 7,39 juta, dan tahun 2011 sebanyak 8,4 juta unit, maka tidak mengherankan apabila jumlah total sepeda motor Indonesia hingga saat ini mencapai lebih dari 85 juta unit [Ermina, 2004]. Peningkatan jumlah sepeda motor tersebut, sebagai akibat meningkatnya daya beli masyarakat dan juga banyak kemudahan untuk memiliki sepeda motor baru maupun bekas. Dampak dari meningkatnya sepeda motor tentunya menarik industri pengecoran logam untuk memproduksi komponen suku cadang sepeda motor seperti piranti penghenti laju (rem).

Rem adalah salah satu suku cadang yang ada di sepeda motor dan merupakan golongan suku cadang habis pakai (*fast moving*) yang harus dilakukan penggantian baru apabila masa pakainya telah habis. Salah satu bagian dari piranti rem yaitu berupa sepatu rem, dimana sepatu rem berfungsi sebagai tempat melekatnya kampas rem (Gambar 1.1).



**Gambar 1.1** Model Sepatu Rem pada Komponen Rem Tromol [Http 2012]

Selama ini produksi sepatu rem tidak hanya dilakukan oleh produsen skala besar tetapi juga dilakukan oleh industri kecil menengah. Tantangan yang dialami oleh industri kecil menengah (IKM) adalah bagaimana agar dapat bersaing dengan industri besar terutama pengetahuan dan teknologi dibidang pengecoran logam. Oleh karena itu pada penelitian ini akan di teliti sifat mekanis dan sifat

asis dari sepatu rem dengan bahan dasar ADC12 dengan berbagai variasi temperatur penuangan, melalui proses HPDC (*High Pressure Die Casting*). Serta dilanjutkan proses perlakuan panas. Pengujian-pengujian yang telah dilakukan antara lain pengujian kekerasan, pengujian densitas dan porositas serta struktur mikro. Sehingga hasil penelitian yang telah dilakukan diharapkan bisa bermanfaat bagi dunia industri kecil dalam pembuatan sepatu rem.

## 1.2 Prinsip High Pressure Die Casting (HPDC)

Pengecoran HPDC adalah proses pengecoran dengan cara menginjeksikan logam cair ke dalam cetakan dan memberikan tekanan selama pembekuan didalam ruang tertutup. *High Pressure Die Casting* (HPDC) merupakan salah satu jenis dari pengecoran dengan tekanan dimana logam cair dibekukan pada tekanan yang tinggi diantara cetakan (*dies*) dan piston hidrolik pada ruang tertutup. Proses pengecoran ini pada dasarnya mengkombinasikan antara proses pengecoran dan proses penempaan (akibat adanya tekanan).

Parameter utama proses pengecoran HPDC adalah [Ghomashchi, M.R.& Vikhrov, 2000]:

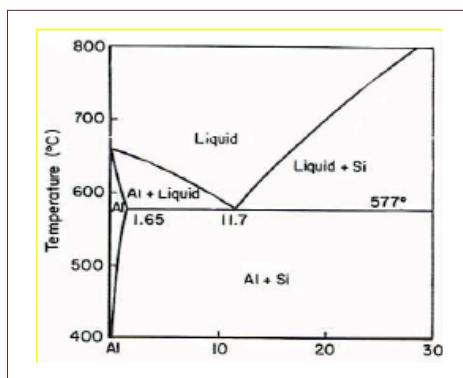
1. Temperatur ruang
2. temperatur cetakan
3. tekanan
4. komposisi logam cairan
5. volume logam cairan

Masing-masing parameter tersebut akan mempengaruhi terhadap sifat fisik dan mekanik benda yang dicor seperti ukuran butir, porositas, kekerasan, kekuatan tarik, dan adanya segregasi. Pada proses HPDC, logam cair diinjeksikan dengan tekanan tinggi hingga masuk ke dalam cetakan. Tekanan yang digunakan biasanya diatas 7 MPa, dimana peralatannya terdiri dari dua plat vertikal yang terletak saling berhadapan . Dua plat tersebut adalah *fix plate* dan *moveable plate* sehingga cetakan bisa dibuka dan ditutup untuk melepaskan benda hasil coran setelah proses.

## 1.3 Paduan Al-Si

Paduan Al-Si merupakan material yang memiliki sifat mampu cor yang baik, dapat diproses dengan permesinan, dan dapat dilas. Paduan Al-Si

cocok digunakan pada pengecoran HPDC (*High Pressure Die Casting*). Diagram fasa paduan Al-Si ditunjukkan pada Gambar 1.2 dimana diagram fasa ini digunakan sebagai pedoman umum untuk menganalisa perubahan fasa pada proses pengecoran Al-Si.



**Gambar 1.2** Diagram Fasa Al-Si. [3]

Jenis paduan Al-Si menurut kandungan silicon sesuai diagram fasa Al-Si terdiri dari 3 macam, yaitu [Callister, 1994]:

a. *Hypoeutectic*

Paduan Al-Si disebut *Hypoeutectic* yaitu apabila pada paduan tersebut terdapat kandungan silicon  $< 11.7\%$  dimana struktur akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah struktur ferrite (alpha) yang kaya akan aluminium dengan struktur eutektik sebagai tambahan.

b. *Eutectic*

Paduan Al-Si *eutectic* memiliki kandungan silicon sekitar 11.7% sampai 12.2%. Pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari fasa cair ke fasa padat).

c. *Hypereutectic*

Paduan Al-Si *hypereutectic* memiliki kandungan silicon lebih dari 12.2% sehingga kaya akan kandungan silicon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Dengan adanya struktur Kristal silicon primer pada daerah ini mengakibatkan karakteristik sebagai berikut:

1. Ketahanan aus paduan meningkat.
2. Ekspansi termal rendah.
3. Memiliki ketahanan retak panas yang baik.
4. Komposisi logam cairan
5. Volume logam cairan

### 3. Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Kegiatan penelitian yang dilakukan meliputi pengujian didalam laboratorium, pengolahan data dan pengambilan kesimpulan antara lain:

- a) Uji densitas dan porositas dilakukan dengan menggunakan metode archimedes. Hal ini bertujuan untuk menentukan massa jenis spesimen uji pada keadaan kering dan keadaan basah didalam air dan juga besarnya porositas yang terjadi pada spesimen uji tersebut.
- b) Uji kekerasan untuk mengetahui nilai kekerasan dari masing-masing spesimen uji dengan menggunakan *Rockwell Hardness Tester* (Skala HRB).
- c) Uji struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optic untuk melihat struktur mikro pada spesimen uji.
- d) *Heat Treatment* dengan Perlakuan *Age Hardening*

Spesimen diberi perlakuan panas dengan *solution treatment* dengan temperatur 490°C selama 15 menit kemudian dilakukan *quenching* menggunakan air. Setelah itu spesimen diberi perlakuan *artificial aging* dengan temperatur 150°C selama 4 jam.

- e) Pengolahan Data, Analisa dan Pembahasan Mengolah data-data yang sudah didapatkan dengan mengacu pada materi yang terdapat pada referensi, dan menampilkan data-data tersebut dalam bentuk grafik, dan tabel yang dibuat dalam penulisan laporan.

### 4. Hasil dan Pembahasan

#### 4.1 Komposisi Material ADC12

Pengujian komposisi dilakukan untuk mengetahui kelompok material paduan aluminium. Adapun hasil lengkap pengujian komposisi material ADC12 Produksi PT. Pinjaya Mojokerto disajikan pada Tabel 4.1. Hasil uji komposisi menunjukkan bahwa material ADC12 mempunyai unsur utama 85.37 % Al dan 10.637% Si . Berdasarkan pada komposisi paduan, material ADC12 diatas dapat dikelompokkan kedalam paduan aluminium *ingot* untuk die casting kelas 12 berdasarkan JIS 2118-2006. Selain itu material tersebut dapat memiliki sifat mampu tempa. Selain itu unsur penambah lain seperti Cu juga memiliki kadar yang sangat

signifikan untuk dilakukan perlakuan panas solution hardening diikuti precipitation hardening.

Tabel 4.1 Hasil uji komposisi material ADC12

Unsur	(% Berat)	Unsur	(% Berat)
Si	10.637	Cr	0.0385
Fe	0.83	Pb	0.072
Cu	1.8	Sn	0.046
Mn	0.092	Ti	0.017
Mg	0.268	Be	< 0.001
Zn	0.78	Ca	0.002
Ni	0.042	Na	< 0.001
Sb	< 0.000	Al	85.37
Sr	< 0.000		

#### 4.2 Hasil Uji Densitas dan Porositas

Data yang dihasilkan dalam pengujian merupakan hasil pengukuran pada spesimen yang dihasilkan dari proses HPDC dengan temperatur yang berbeda. Dari data tersebut data digunakan untuk mengetahui pengaruh proses HPDC terhadap nilai porositas dan densitas yang dihasilkan. Data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Data Hasil Pengujian Densitas dan Porositas

Suhu Lebur	700°C			750 °C			800 °C		
	A*	B	C	A	B	C	A	B	C
Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	1.5 72	1.5 63	1.5 63	1. 57	1. 57	1. 57	1.5 79	1.5 86	1.5 61
densitas rata-rata	1.566			1.573			1.575		
Porositas (%)	11. 5	12. 0	12. 0	11 .5	11 .2	11 .5	11. 1	10. 7	12. 1
Porositas rata-rata	11.8%			11.4%			11.3%		
Densitas teoritis Al-Si	1.776			1.776			1.776		

\*Catatan: A= posisi atas, B = posisi tengah dan C = posisi bawah

Dari tabel diatas memperlihatkan bahwa densitas yang diperoleh masih jauh dari harga densitas teoritis, sehingga menjadi jelas porositas masih tinggi. Peningkatan nilai porositas disebabkan karena makin rendah temperatur tuang, maka gradient temperatur logam cair dan cetakan makin rendah pula, sehingga laju pembekuan makin lambat. Rendahnya temperatur penuangan akan menghasilkan *secondary dendrite arm spacing* (SDAS) yang semakin besar, sehingga jarak struktur makin besar, yang memungkinkan ukuran butir

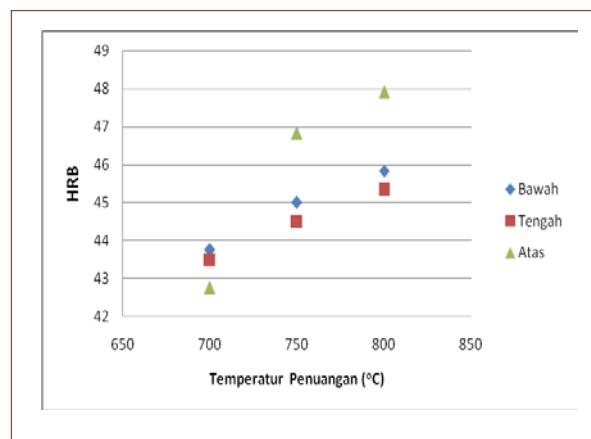
makin kasar, semakin panjang lengan dendrite mengakibatkan porositas terjebak diantaranya.

#### 4.3 Hasil Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan pada temperatur penuangan 700°C, 750°C dan 800°C dilakukan pada bagian atas, tengah, dan bawah sepatu rem, masing-masing specimen mengalami 6 kali uji kekerasan sesuai pada gambar 4.1 dan hasilnya disajikan pada gambar 4.2 untuk hasil pengujian kekerasan sepatu rem dengan bahan ADC 12 pada temperatur penuangan 700°C, 750°C, dan 800°C. (Skala HRB).



Gambar 4.1. (a) Posisi specimen dan (b) Posisi penitikan



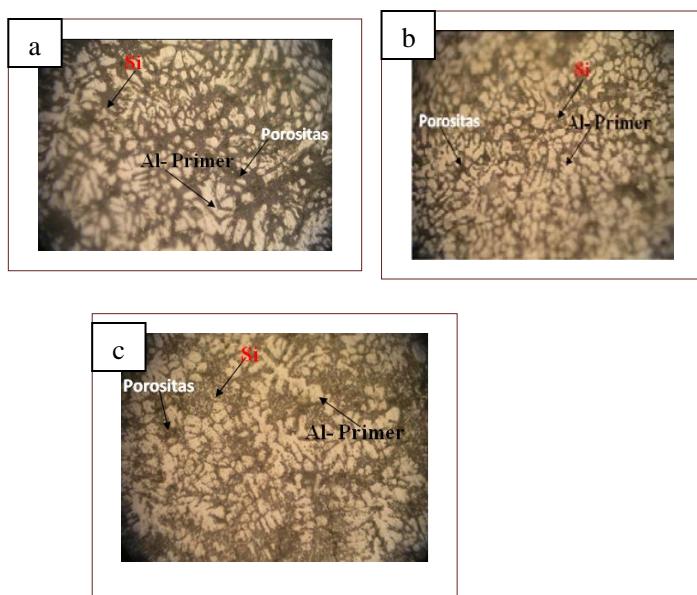
Gambar 4.2 Hasil pengujian kekerasan

Gambar 4.2 memperlihatkan hasil yang diperoleh dari pengujian kekerasan pada berbagai variasi temperatur penuangan dan pada tiga posisi pengujian yang berbeda. Nilai kekerasan semakin meningkat dengan bertambahnya temperatur penuangan. Pada data besarnya kekerasan pada posisi atas selalu menunjukkan nilai kekerasan yang lebih tinggi dari posisi tengah maupun bawah, hal

ini disebabkan pada posisi atas adalah daerah yang terkena tekanan secara langsung dari proses HPDC. Walaupun pada data nilai kekerasan pada temperatur penuangan  $700^{\circ}\text{C}$  posisi atas nilai kekerasannya lebih rendah dari posisi lainnya.

#### 4.4 Hasil Pengujian Mikrografi

Pada pengamatan struktur mikro terhadap material ADC12 setelah proses, diperoleh beberapa data seperti berikut:



Gambar 4.3 Struktur Mikro ADC12 dengan temperatur penuangan (a)  $700^{\circ}\text{C}$ , (b)  $750^{\circ}\text{C}$ , dan (c)  $800^{\circ}\text{C}$

Pada pengamatan struktur mikro terhadap material ADC12 setelah proses, diperoleh beberapa data seperti berikut:

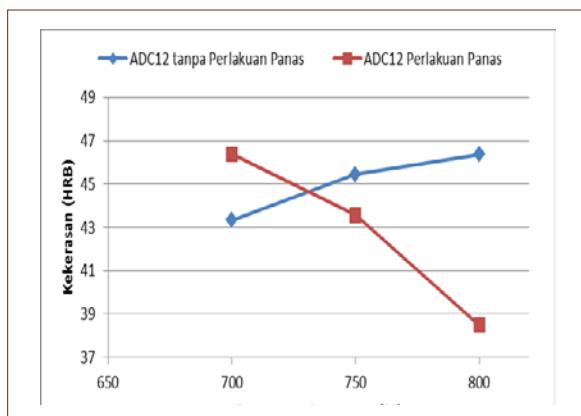
- Variasi temperatur penuangan menyebabkan perubahan bentuk struktur mikro paduan Al-Si. Hal ini terlihat baik pada temperatur penuangan  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $750^{\circ}\text{C}$  dan  $800^{\circ}\text{C}$  dimana terdapat perbedaan bentuk struktur mikro. Perubahan yang terjadi akibat proses pemanasan yang diberikan memberi peluang butir untuk bergerak dan menata letaknya, sehingga bentuk struktur butir pada masing-masing temperatur penuangan berbeda-beda.

- Pada temperatur penuangan  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $750^{\circ}\text{C}$  dan  $800^{\circ}\text{C}$ , seiring dengan bertambahnya temperatur penuangan bentuk matrik Si menjadi tertata dan kelihatan lebih rapat. Semakin tinggi temperatur penuangan menyebabkan presipitat bertambah besar dan jumlah juga bertambah banyak, hal ini menyebabkan jarak antar partikel presipitat semakin rapat. Presipitat yang rapat inilah yang kemudian bertindak sebagai penghalang terjadinya dislokasi [Campbell, J.& Harding R.A., 1994]. Sehingga ketika terjadi deformasi maka, akan sulit terjadi dislokasi. Hasil struktur mikro ini memperkuat hasil pengujian kekerasan dimana seiring bertambahnya temperatur penuangan, kekerasan paduan ADC12 menjadi meningkat.
- Dari pengamatan struktur mikro temperatur penuangan  $700^{\circ}\text{C}$ ,  $750^{\circ}\text{C}$  dan  $800^{\circ}\text{C}$ , menunjukkan adanya porositas pada masing-masing foto hasil pengamatan. Pada spesimen dengan temperatur penuangan  $700^{\circ}\text{C}$  terdapat lebih banyak porositas dibandingkan dengan temperatur penuangan  $750^{\circ}\text{C}$  dan  $800^{\circ}\text{C}$ . Rendahnya temperatur penuangan ,akan menghasilkan *secondary dendrite arm spacing* (SDAS) [ASM, 2004] yang semakin besar, sehingga jarak struktur makin besar, yang memungkinkan ukuran butir makin kasar, semakin panjang lengan dendrite mengakibatkan porositas terjebak diantaranya, sehingga pada temperatur penuangan  $700^{\circ}\text{C}$  banyak terdapat porositas.
- Pada temperatur  $700^{\circ}\text{C}$  terlihat persebaran Si yang tidak merata, bahkan terlihat seperti terbentuk Si-primer, seperti kita ketahui Si-primer tidak dapat terbentuk pada material ADC12, karena Si-primer hanya terbentuk pada paduan Al-Si dengan komposisi  $\text{Si} > 12.6\%$ . Seiring bertambahnya temperatur penuangan menyebabkan persebaran Si semakin merata. Si yang terpisah secara luas (*large divorced*) menjadi tersebar secara halus di antara fase aluminium (*finecoupled aluminium-silicon*) pada temperatur  $800^{\circ}\text{C}$ . Sebagaimana kita ketahui Si lebih merata dan tersebar pada semua permukaan menyebabkan kekerasan permukaan lebih tinggi. Hasil struktur mikro ini memperkuat hasil pengujian kekerasan dimana

seiring bertambahnya temperatur penuangan kekerasan ADC12 menjadi meningkat.

#### 4.4 Kekerasan hasil perlakuan panas

Hasil pengujian kekerasan benda uji hasil perlakuan panas dibandingkan dengan pengujian material sebelum perlakuan panas disajikan didalam gambar 4.4. Dalam hal ini nilai kekerasan ADC12 perlakuan panas pada temperatur penuangan 700°C merupakan nilai kekerasan tertinggi, karena pada temperatur penuangan 700°C memiliki solidifikasi yang lebih cepat dibandingkan dengan temperatur penuangan 750°C dan 800°C sehingga paduan 700°C memiliki jarak antar butir kristal yang lebih rapat. Jarak butir kristal yang rapat akan menyebabkan butir kristal sulit terdislokasi yang menyebabkan kekerasannya meningkat. Sedangkan pada temperatur penuangan yang lebih tinggi solidifikasi lebih lambat, sehingga perubahan jarak butir kristal yang terjadi tidak terlalu berbeda jauh dengan ADC12 tanpa perlakuan panas. Selanjutnya pada temperatur penuangan 800 °C memperlihatkan hasil nilai kekerasan paling rendah, bahkan lebih rendah dari ADC12 tanpa perlakuan panas. Hal ini disebabkan pada temperatur penuangan 800 °C solidifikasi terjadi sangat lambat, sehingga pada saat dilakukan *artificial aging* [Kuntongkum, 2008; Lumlay, 2009] pada temperatur 150 °C selama 4 jam butir kristal membesar dan jarak antar butir kristal menjadi lebih besar. Hal ini menyebabkan butir kristal mudah terdislokasi dan menyebabkan nilai kekerasannya menurun.



**Gambar 4.4.** Kekerasan material sepatu rem tanpa dan perlakuan Panas

#### 5. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian densitas, porositas, dan kekerasan pada sepatu rem hasil pengecoran HPDC serta perlakuan panas maka dapat disimpulkan bahwa

- Densitas rata-rata pada temperatur penuangan 700°C, 750°C, dan 800°C berturut-turut sebesar 1.566 gr/cm<sup>3</sup>, 1.573 gr/cm<sup>3</sup>, dan 1.575 gr/cm<sup>3</sup>.
- Porositas rata-rata pada temperatur penuangan 700°C, 750°C, dan 800°C berturut-turut sebesar 11.8%, 11.4%, dan 11.3%.
- Nilai kekerasan rata-rata pada temperatur penuangan 700°C, 750°C, dan 800°C berturut-turut sebesar 43.33 HRB, 45.44 HRB, dan 46.36 HRB.
- Kenaikan temperatur penuangan berpengaruh pada kenaikan nilai densitas dan penurunan nilai porositas, hal ini diperkuat dengan penurunan porositas yang terlihat pada pengamatan struktur mikro spesimen.
- Kenaikan temperatur penuangan mengakibatkan nilai kekerasan ADC 12 meningkat, hal ini disebabkan Si yang terpisah secara luas (*large divorced*) menjadi tersebar secara halus di antara fase aluminium (*finecoupled aluminium-silicon*) sehingga persebaran Si semakin merata.
- Dari hasil pengujian kekerasan didapatkan nilai kekerasan rata-rata pada temperatur penuangan 700°C yaitu 46.39 HRB, pada temperatur 750°C yaitu 43.56 HRB, dan pada temperatur 800°C yaitu 38.50 HRB.

#### 6. Daftar Pustaka

- AISI. Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia, *Statistic Motor Cycle Production Wholesales Domestic and Exports* (2010).
- ASM Metals Handbook Volume 9 – Metallography and Microstructure 2004.
- Callister Jr, William. D. “*Material Science and Engineering*”. 7rd edition, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc (1994).
- Campbell, J.& Harding R.A. *Fluidity of Molten Metals*, European Alumunium Association (1994).

Ermina Miranti, *Analisis Ekonomi Bisnis*, Economic Review Journal No. 198. Desember (2004).

Ghomashchi, M.R.& Vikhrov, A, “*Squeeze Casting: and Overview*”, Journal of Materials Processing Technology, vol. 101, page 1 – 9. (2000).

<Http://id.wikipedia.org/wiki/komponenrem>“Komponen rem tromol”. (Juli 2012)

Kuntongkum. *Influence of Heat Treatment Processing Parameters on the Hardness and the Microstructure of Semi-Solid Aluminum Alloy A356*, Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol.18 No.2 pp.93-97 (2008).

Lumlay,RN. *Rapid Heat Treatment of Aluminum High-Pressure Diecastings*, Journal metallurgical and materials transactions a, volume 40a, pp 1716-1726 (2009).