

STUDI PENGARUH TEKANAN DAN KOMPOSISI CAMPURAN PADA PROTOTYPE PISTON KOMPOSIT DENGAN PENGUAT SILIKON KARBIDA (SiC) MENGUNAKAN METODE SQUEEZE CASTING

Radimin^{1*}, Fuad Abdillah²

*Pendidikan Teknik Mesin-Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan- IKIP Veteran
Semarang

Jl. Pawiyatan Luhur IV No. 17 Semarang 50235

E-mail : radiminph@yahoo.com

Abstrak

Aluminium berkembang 29 juta ton per tahun, untuk 22 juta ton aluminium baru dan 7 juta ton daur ulang skrap aluminium. Penggunaan aluminium daur ulang secara ekonomi dan lingkungan sangat menarik. Kebutuhan aluminium di Indonesia per tahun mencapai 200.000-300.000 ton dengan harga US\$ 1.951,50 per ton. Padahal bijih aluminium merupakan bahan tambang yang persediannya terbatas. Apabila dikaitkan penggunaan piston dengan jumlah kendaraan di Indonesia, pada tahun 2011 mencapai 85.601.351 buah. Untuk penggantian kerusakan piston setiap tahunnya 3-4% dan berat piston rata-rata 3 ons. Seandainya dikalikan jumlah piston yang diganti mencapai 16.306,5 ton. 1 ton aluminium dengan harga US\$ 1.951,50, berarti jumlah uang keseluruhan US\$ 31.822.134 (Rp 315 Milyar).

Tujuan penelitian untuk pembuatan prototipe piston komposit dari limbah piston dengan penambahan silikon karbida (SiC) dan magesium menggunakan metode stir casting dan squeeze casting. Komposisi campuran dengan kode K1, K2, dan K3. Sebagai kontrol piston Daihatsu Hijet 1000. Tekanan squeeze casting dengan variasi 400, 600, dan 800 MPa. Hasil pengujian komposisi kimia limbah piston untuk kandungan Al dan Si masih dibawah komposisi kimia dari piston asli, sehingga perlu penambahan material silikon karbida (SiC) dan Magnesium (Mg) untuk menambah kekuatan mekanis. Pengujian strukturmikro SEM nampak perbedaan pada ikatan antarmuka antara matrik dan penguat SiC. Komposisi campuran K3 dengan tekanan 800 MPa memiliki ikatan antarmuka matrik dan penguat lebih sempurna. Matrik aluminium mampu menyelimuti permukaan SiC. Hasil strukturmikro mendukung terhadap hasil kekerasan. kekerasan menyamai kekerasan piston Daihatsu Hijet-1000 sebesar 76 HRB. maka bisa direkomendasikan untuk pembuatan prototipe piston komposit

Kata kunci: Aluminium, piston, komposit, silikon karbida, squeeze casting

1. PENDAHULUAN

Material aluminium tinggal 8% di kerak bumi (Verstraeten., 2008). Permintaan di seluruh dunia untuk aluminium berkembang 29 juta ton per tahun, untuk 22 juta ton aluminium baru dan 7 juta ton daur ulang skrap aluminium. Penggunaan aluminium daur ulang secara ekonomi dan lingkungan sangat menarik (Francis., 2012). Dibutuhkan 14.000 kWh untuk menghasilkan 1 ton aluminium baru, sebaliknya dibutuhkan hanya 5% untuk daur ulang per ton aluminium. Tidak ada perbedaan kualitas antara paduan aluminium murni dan daur ulang, membuat penggunaannya aluminium paling banyak digunakan setelah baja (Aalco., 2013). Kebutuhan aluminium di Indonesia per tahun mencapai 200.000-300.000 ton dengan harga US\$ 1.951,50 per ton (Agus., 2013). Penggunaan aluminium pada industri otomotif terus meningkat sejak tahun 1980. Banyak komponen otomotif yang terbuat dari paduan aluminium, diantaranya piston, blok mesin, *cylinder head*, *valve* dan lain sebagainya (Budinski., 2001). Piston merupakan salah satu dari spare part untuk kendaraan bermotor yang sangat vital dan sering dilakukan pergantian setiap *overhould* (Solechan, 2010). Kerusakan piston diakibatkan oleh keausan dikarenakan kondisi kerja piston menahan suhu tinggi, tekanan besar dan gaya gesek kontinyue dalam jangka waktu lama (Nurhadi, 2010). Menyebabkan komponen piston perlu dilakukan penggantian sesuai penggunaan (Fuad.,

2010). Piston terbuat dari paduan aluminium dan silikon memiliki daya tahan terhadap korosi, abrasi, ulet, dan kekuatan tinggi tetapi kekerasan rendah (Cole., 1995).

Beberapa inovasi telah dikembangkan dalam pembuatan piston melalui proses pengecoran, diantaranya pengecoran gravitasi, cetak tekan (*squeeze casting*), *stir casting*, metalurgi serbuk dan *centrifugal casting* (Zamheri., 2011). Kelemahan hasil pengecoran gravitasi yaitu banyak porositas dan kekuatan rendah (Radimin, 2012). Proses metalurgi serbuk dari segi impuriti dan energi sangat rendah tetapi proses dan perlakuan terhadap serbuk rumit (Toto., 2009). Pengecoran *squeeze casting* dapat meminimalkan porositas, penyusutan, kekuatan mekanik tinggi, hemat logam, biaya rendah dan bentuk akhir mendekati dimensi yang diinginkan (Shoujiang, 2007).

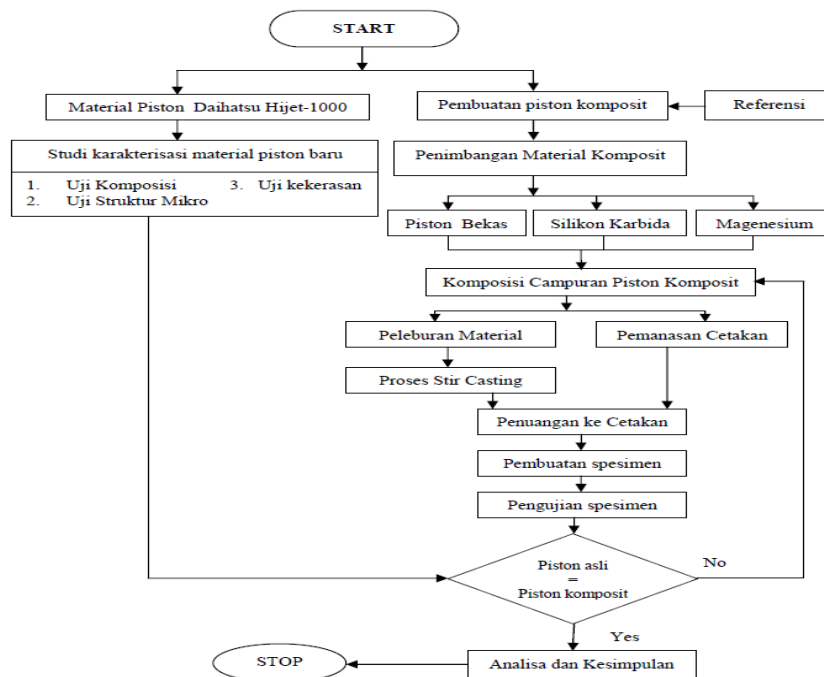
Kekuatan dan keuletan aluminium masih dibawah standar piston, sehingga perlu diciptakan material yang lebih unggul (Fuad., 2010). Material unggul didapat dari penggabungan dua atau lebih material, dan sering disebut komposit (Martin, 2011). Komposit matrik aluminium (AMCs) banyak digunakan dalam pembuatan piston (Carli., 2012). Komposit terdiri dari paduan aluminium dan silikon karbida (SiC). Aluminium sebagai matrik dan SiC sebagai penguat (*reinforced*), biasanya dalam bentuk partikulat atau serat. Untuk piston komposit memiliki campuran matrik 88% dan penguat 12%, dapat meningkatkan kekuatan sifat mekanik 100 % (Mahadevan, 2008). Batas campuran volume fraksi penguat tidak boleh lebih dari 30%, karena dapat menyebabkan kerapuhan dan aliran cor rendah (M.K. Surappa., 2003). Sedangkan diameter partikel SiC semakin kecil akan meningkatkan kekerasan dan mengurangi keausan piston (Z.F. Zhang, et.al., 2006).

Kurzawa (2008), membuat piston AMCs atau komposit matrik aluminium dari paduan aluminium Al-Si ditambah penguat SiC dengan perbandingan 80% Al-Si dan 20% SiC menggunakan metode *squeeze casting*. Diameter partikel SiC 1,8 μm , penekanan 100 ton dan kecepatan penekanan 5 m/s. Hasilnya porositas 2%, kekerasan meningkat 200% dan permukaan halus. Limbah aluminium ditambah SiC menggunakan metode *squeeze casting* dengan penguat partikel dan fiber dapat meningkatkan kekuatan tarik 225%, kekerasan 150% dan porositas 5% (Shoujiang., 2013). Agar piston hasil daur ulang bisa digunakan dengan baik dan aman, maka perlu dilakukan *heat treatment* (perlakuan panas) untuk memperbaiki sifat material (Fuad., 2010). Dari latar belakang diatas, riset fokus pada pembuatan prototipe piston komposit dari limbah piston dengan penambahan silikon karbida (SiC) dan magnesium (Mg) menggunakan metode *squeeze casting*. Diharapkan piston komposit dapat menambah performa kerja mesin, tahan lama, mempunyai nilai jual tinggi dan mengurangi limbah piston.

2. METODOLOGI

Riset yang diusulkan mengikuti diagram alir pada **Gambar 1**. Pertama membuat cetakan piston komposit dari mengukur dimensi piston untuk dikonversi ke CAD. Hasil gambar dari CAD dibuat cetakan piston komposit dengan mesin bubut *Computer Numerical Control* (CNC). Bentuk dimensi disesuaikan dengan piston Daihatsu Hijet-1000. Kedua penimbangan komposisi material piston komposit mulai dari limbah piston, bubuk SiC, dan magnesium. Proses pembuatan piston komposit menggunakan metode *stir casting* dan *squeeze casting*. Ketiga pengujian karakteristik dan sifat mekanik piston komposit dari uji komposisi kimia, metalurgrafi, dan kekerasan. Proses pembuatan piston komposit dengan variasi komposisi campuran 89% piston bekas + 6 % SiC + 5% Mg kode K1, 83% piston bekas + 12% SiC + 8 % Mg kode K2, 77% piston bekas + 18 % SiC + 11% Mg kode K3, dan piston asli kode A. Tekanan *squeeze casting* pada pembuatan piston komposit memakai variasi 400, 600, dan 800 MPa. Proses peleburan pada suhu 700°C, tetapi waktu memasukan serbuk SiC dengan ukuran butir 40 μm pada suhu 550°C. Sebelumnya SiC dipanaskan dulu pada suhu 700°C untuk menghilangkan kandungan air (H₂O). *Preheating* cetakan pada suhu 450°C, dan putaran pengadukan pada mesin *stir casting* 200 rpm.

Proses pembuatan spesimen piston komposit ditunjukan pada **Gambar 2**, hasil yang paling optimal dari komposisi campuran dan tekanan *squeeze casting* yang nantinya digunakan untuk pembuatan prototipe piston komposit. Pengujian piston komposit mulai dari komposisi kimia, metalurgrafi dengan *Scanning electron microscope* (SEM), dan pengujian kekerasan. Hasil pengujian ini dikomparasikan dengan piston asli Daihatsu Hijet-1000. Pembuatan spesimen berbentuk silinder dengan ukuran diameter 20 mm dan tinggi 80 mm. Pemotongan spesimen dibagi tiga, yaitu atas, tengah, dan bawah sehingga mewakili seluruh spesimen komposit.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pengujian komposisi kimia menggunakan standar pengujian ASTM E 415 dengan ketebalan spesimen minimal 5 mm. Pengujian SEM dengan referensensi standart pembuatan spesimen ASM volume 9, sedangkan pengujian kekerasan menggunakan *Rokwell Hardness* dengan standar pengujian ASTM E18.



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.2 Pengujian Komposisi Kimia

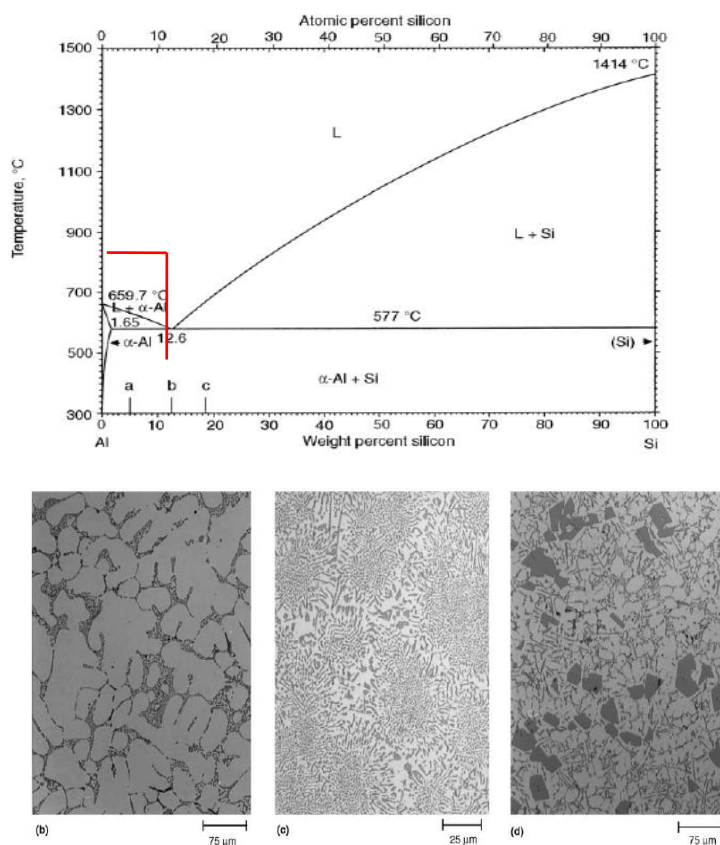
Hasil uji komposisi menunjukkan bahwa material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 mempunyai unsur paduan utama 84,19% Al dan 10,7% Si. Limbah piston mengandung unsur paduan utama 86,27% Al dan 7,98% Si. Adapun hasil lengkap pengujian komposisi material disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Hasil uji komposisi material piston original, limbah piston, dan AA.333.0

Paduan	Al	i	Fe	Cu	Mn	Mg	r	Ni	Zn	Ti
Piston Daihatsu Hijet 1000	84.19	10.7	0.465	0.981	0.041	1.15	0.032	2.29	0.016	0.078
Limbah Piston	86,27	7,98	1,50	1,40	0,421	0,954	0,078	0,694	0,922	0,027
AA. 333.0	84.0-86.0	8.0-10.0	1.0	3.0-4.0	0.50	0.05-0.50	-	0.50	-	0.25

Sumber : Pengujian di POLMAN Cepur Klaten

Komposisi paduan material piston original Daihatsu dapat dikelompokkan kedalam paduan aluminium AA. 333.0 (ASM Volume 3: 1992). Sedangkan limbah piston dibawah standar. Berdasarkan diagram fasa material piston original Daihatsu terletak didaerah *hypoeutectic* dengan strukturmikro di dominasi aluminium yang ditampilkan pada **Gambar 3** sebagai berikut.

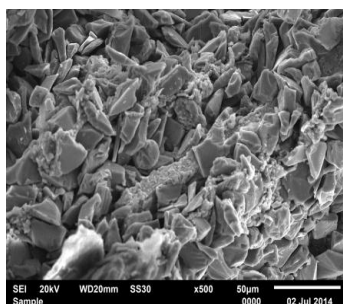
**Gambar 3. Diagram fasa paduan Al-Si dan strukturmikro (ASM Volume 3: 1992, 1992)**

Hasil uji komposisi kimia terdapat perbedaan unsur paduan Al dan Si antara hasil pengujian limbah piston dengan material piston Daihatsu. Perbedaan ini cukup signifikan, karena limbah piston belum masuk dalam batas standar paduan aluminium AA. 333.0 (ASM Vol 3, 1992). Sehingga dari hasil studi piston bekas dapat disimpulkan komposisi kimia hasil limbah piston bekas khususnya untuk kandungan % Si masih dibawah komposisi piston Daihatsu dan standar paduan aluminium AA. 333.0. Limbah piston bekas tidak bisa didaur ulang secara langsung sebagai material piston. Agar limbah piston bekas dapat dimanfaatkan menjadi material piston perlu

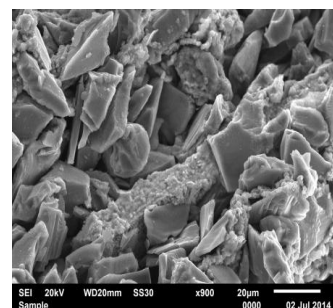
dilakukan usaha perbaikan kualitas hasil coran, khususnya kualitas kekerasan, komposisi kimia dan struktur mikro yang merupakan struktur dasar material piston. Salah satu usaha yang bisa dilakukan adalah dengan penambahan material silikon karbida (SiC) dan magnesium (Mg).

3.3 Pengujian SEM

Metalurgrafi piston komposit digunakan untuk mengamati penyebaran komposisi campuran komposit. Spesimen dipatahkan untuk melihat strukturmikro piston komposit dengan menggunakan SEM. Terlihat hasil foto strukturmikro pada komposisi campuran K1 dengan tekanan *squeeze casting* 800 MPa pada **Gambar 4**. Nampak butiran SiC yang berbentuk butiran tidak seragam dengan ukuran butir rata-rata 40 μm . Ikatan permukaan SiC dengan aluminium kurang kuat dan butiran tidak diselubungi matrik aluminium yang diperlihatkan pada **Gambar 4.a** dengan pembesaran 500x. Ini disebabkan antarmuka matrik tidak memiliki *wetting agent* atau reaksi pengikat antara aluminium dan SiC. Walaupun sudah ada penambahan magnesium sebagai *wetting agent* tetapi tidak mampu membasahi butiran SiC (Anastasia Sahari, 2009). **Gambar 4.b** memperlihatkan dengan jelas dominasi penguat butiran SiC lebih besar dibanding matrik aluminium, dan hanya sedikit matrik aluminium yang mampu menyelubungi butiran SiC. Peningkatan tekanan *squeeze casting* sampai 800 MPa tidak mampu menyatukan antarmuka antara penguat dan matrik, namun tekanan *squeeze casting* dapat meningkatkan kekerasan dan densitas piston komposit (Hasan Z, 2008).



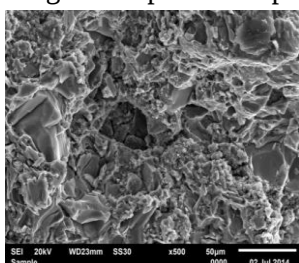
a) Pembesaran 500 x



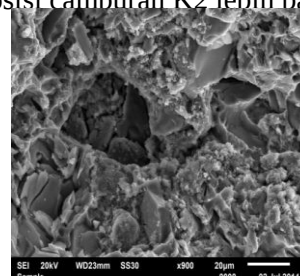
b) Pembesaran 900 x

Gambar 4. Strukturmikro piston komposit K1 tekanan 800 MPa, a) pembesaran 500x dan b) pembesaran 900x

Bertambahnya kandungan magnesium sebesar 8% wt Mg pada komposisi campuran K2 yaitu 83% piston bekas + 12% SiC dengan tekanan *squeeze casting* 800 MPa mampu meningkatkan ikatan antarmuka matrik dan penguat, dimana diperlihatkan pada **Gambar 5a** dengan pembesaran 500x. Terlihat unsur magnesium membasahi permukaan silikon karbida dengan warna hitam dan mengkilat. Magnesium (Mg) mampu sebagai *wetting agent* pada komposisi campuran K2. Magnesium meningkatkan pembasahan antara matrik dan penguat dengan cara menurunkan tegangan permukaan antara keduanya (Lutfi & Sukron., 2010). **Gambar 5.b** dengan pembesaran 900x menampilkan matrik aluminium dari piston bekas menyelubungi seluruh permukaan SiC. Dibandingkan dengan komposisi campuran K1, dan untuk komposisi campuran K2 lebih baik.



a) Pembesaran 500 x

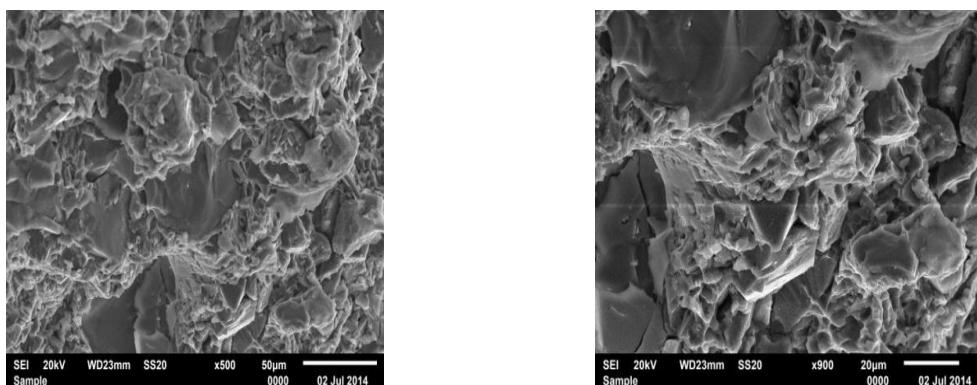


b) Pembesaran 900 x

Gambar 5. Strukturmikro piston komposit K2 tekanan 800 MPa, a) pembesaran 500x dan b) pembesaran 900x

Strukturmikro komposisi campuran K3 dengan tekanan paling tinggi 800 MPa menampilkan ikatan antarmuka matrik dan penguat lebih sempurna yang terlihat pada **Gambar 6a** dengan

pembesaran 500x. Bertambahnya kandungan unsur magnesium sebesar 11% wt Mg mampu membasahi permukaan SiC. **Gambar 6b** hampir seluruh permukaan SiC diselubungi matrik aluminium yang berwarna putih. Penambahan magnesium (Mg) pada pembuatan aluminium matrik komposit dapat meningkatkan pembasahan dan daya lekat antara matrik dan penguat dengan membentuk fasa spinel $MgAl_2O_4$ dan MgO pada daerah antarmuka matrik aluminium dan penguat SiC (Sanggahaleh et.al., 2009). Fasa spinel dapat mereduksi tegangan permukaan antara matrik dan penguat, sehingga dapat meningkatkan daya lekatnya. Daya lekat antara matrik dan penguat berkaitan dengan kemampuan komposit mendistribusikan gaya luar dari matrik menuju penguat secara merata. Daya lekat dipengaruhi penambahan Mg untuk meningkatkan sifat mekanis aluminium matrik komposit (Geng lin et.al., 2010)



a) Pembesaran 500 x

b) Pembesaran 900 x

Gambar 6. Strukturmikro piston komposit K3 tekanan 800 MPa, a) pembesaran 500x dan b) pembesaran 900x

3.4 Pengujian Kekerasan

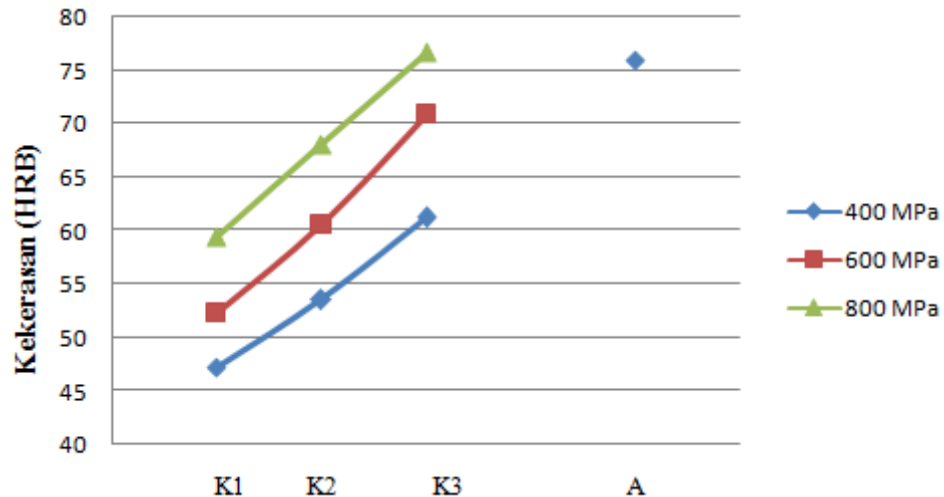
Pengujian kekerasan dilakukan lima kali penekanan identer dengan posisi penekanan merata pada spesimen. Pengujian menggunakan *Rockwell* kelas B dengan identer ball 1/16" beban 100 kg selama 30 detik. Spesimen material piston komposit campuran K1, K2, K3 dan A. Penambahan magnesium juga bertambah mulai dari 5, 8, dan 11% wt Mg. Untuk hasil pengujian spesimen material piston komposit ditunjukkan pada **Tabel 2**. Hasil kekerasan piston komposit dipengaruhi tekanan *squeeze casting* dan penambahan silikon karbida dan magnesium. Pada tekanan 800 Mpa untuk komposisi campuran K3 memiliki kekerasan yang paling optimal dan mendekati kekerasan spesimen piston asli (A).

Tabel 2. Hasil pengujian kekerasan spesimen piston komposit

Komposisi Piston Komposit dan Kode	Hasil Kekerasan (HRB)		
	400 MPa	600 MPa	800 MPa
89% PB + 6 % SiC + 5% Mg (K1)	47,25	52,37	59,43
83% PB + 12% SiC + 8% Mg (K2)	53,55	60,54	68,06
77% PB + 18 % SiC + 11% Mg (K3)	61,21	70,85	76,75
Kontrol (A) (Piston Daihatsu Genuine Part)		76,0	

Tekanan *squeeze casting* proses pembuatan spesimen piston komposit berpengaruh terhadap kekerasan material (Duskiardi, 2002). Pada tekanan 400 Mpa untuk komposisi campuran K1, K2, dan K3 memiliki kekerasan paling rendah, dengan meningkatkan tekanan *squeeze*

casting menjadi 800 MPa, menambah kekerasan material piston komposit rata-rata naik 20%, yang mana bisa dilihat digrafik pada **Gambar 7**. Selain tekanan *squeeze casting* komposisi campuran sangat berpengaruh terhadap kekerasan. Bertambahnya kandungan SiC dan magesium menambah kekerasan spesimen piston komposit (Zamheri A, 2011). Komposisi campuran K3 dan tekanan *squeeze casting* 800 MPa memiliki kekerasan menyamai kekerasan piston Daihatsu Hijet-1000 sebesar 76 HRB. Ini didukung hasil strukturmikro SEM menunjukan matrik aluminium mampu menyelimuti SiC secara sempurna dibandingkan komposisi campuran lainnya. Ditemukan komposisi campuran dan tekanan yang paling optimal, maka bisa direkomendasikan untuk pembuatan prototipe piston komposit.



Gambar 7. Kekerasan spesimen piston komposit

4. KESIMPULAN

- (1) Meningkatnya kandungan magnesium dan penguat SiC dapat meningkatkan kekerasan spesimen piston komposit dan ikatan antarmuka yang optimal.
- (2) Bertambahnya tekanan *squeece casting* mampu meningkatkan kekerasan spesimen piston komposit.
- (3) Komposisi campuran K3 dan tekanan 800 MPa untuk kekerasan menyamai kekerasan piston Daihatsu Hijet-1000 yang berfungsi sebagai kontrol.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional Republik Indonesia yang telah memberikan dana untuk Penelitian Hibah Bersaing tahun anggaran 2013-2014.

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM E415 - 14 Standard Test Method for Analysis of Carbon and Low-Alloy Steel by Spark Atomic Emission Spectrometry.
- ASM Handbook Volume 9: Metallography and Microstructures.
- ASM Handbook: Volume 3: Alloy Phase Diagrams.
- ASTM E18 - 11 Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials , hardness, mechanical test, metals, Rockwell,
- Aalco Metals Ltd., 2013., Aluminium Alloy: Introduction to Aluminium and its alloys ., 25 High Street, Cobham, Surrey KT11 3DH., 12 Januari., hlm 1-3.
- Agus Triyono., Rizki Caturini., 2013., Tren Harga Aluminium; Harga aluminium tertekan data ekonomi., Investasi News., www.investasi.kontan.co.id
- Budinski., 2001., "Engineering Materials Properties and Selection," pp. 517–536.
- Cole, G S., and Sherman, A. M., 1995, "Light weight materials for automotive applications," Material Characterization, 35 (1) pp. 3–9.

- Carli, S., A. Widyanto², Ismoyo Haryanto., 2012., Analisis kekuatan tarik dan lentur komposit gelas jenis woven dengan matriks epoxy dan polyester berlapis simetri dengan metoda manufaktur hand lay-up., Teknis Vol. 7,: 22 – 26.
- Duskiardi, Tjitro, S., 2002, Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Material Piston Komersial Lokal, Jurnal Teknik Mesin Vol. 4 No. 1 April 2002, Universitas Kristen Petra Surabaya, pp. 1-5.
- Francis Mangels., 2012., Why In The World Are They Spraying., page 87-98.
- Fuad Abdullah., 2010., Pengaruh perlakuan panas pada paduan aluminium dalam upaya meningkatkan sifat mekanis material piston berbasis material piston pegas., Prosiding penelitian RAPI UMS., hal 132-137.
- Geng Lin, Zhang Hong-Wei, Li Hao-Ze, Guan Li-Na, Huang Lu-Jun, 2010, “ Effect of Mg Content of Microstructures and Mechanical Properties of SiC/Al-Mg Composites- Trans Non Ferrous Met, Sos, China 20 ; 1851-1855.
- Hasan Z, 2008, “Studies on Strength, Fracture, Fatigue and Wear Behavior of Al-SiC Particulate Composites”, Ph.D. Thesis, IIT Delhi India.
- Kurzawa. A, J.W. Kaczmar, A. Janus., 2008., Selected mechanical properties of aluminum composite materials reinforced with SiC particles., Archives of Foundry Engineering., ISSN (1897-3310) Volume 8 Issue 2.
- Lutfi, Syukron, 2010, Pengaruh Terhadap Proses Electrocoless Coating pada Partikel Penguat SiC, Departemen Teknik Metalurgi dan Material. Unoiversitas Indonesia.
- Martin I. Pech.C., 2011., Aluminum Alloys for Al/SiC Composites, Recent Trends in Processing and Degradation of Aluminium Alloys, ISBN: 978-953-307-734-5.
- Mahadevan. R dan R Gopal., 2008., Selectively reinforced squeeze cast pistons., Proceedings of 68th World Foundry Congress., India., hal.379 -383.
- M.K. Surappa., 2003., Aluminium matrix composites: Challenges and opportunities., S^{adha}na Vol. 28, Parts 1 & 2, , pp. 319–334. © Printed in India.
- Nurhadi., 2010., Studi Karakterisasi Material Piston dan Pengembangan Prototipe Piston Berbasis Limbah Piston Bekas., Jurnal RETII 4., Vol 4, No1, 201-207.
- Radimin PH., 2012., Inovasi Pembuatan Prototipe Piston dari Material Piston Bekas dengan Penambahan Insert Besi Cor Pada Alur Ring kompresi., Gardan., ISSN 34-365., hal 23-30.
- Solechan., 2010., Studi pembuatan material piston menggunakan limbah piston bekas dan ADC 12 yang diperkuat dengan insert ST 60 dan besi cor., Jurnal RETII 4., Vol 4, No1, hal 213-219.
- Shoujiang QU., y, Lin Geng dan Jiecai Han., 2007., SiCp/Al Composites Fabricated by Modified Squeeze Casting Technique., J. Mater. Sci. Technol., Vol.23 No.5.
- Sanggahaleh, Ali and Mohammad Halali, 2009, ”Efect of Magnesium Addition on the Wetting of Alumina by Aluminium” Applied Surface Science 2555, ; 8202-8206.
- Toto Rusianto., 2009., Hot pressing metalurgi serbuk aluminium dengan variasi suhu pemanasan., Jurnal Teknolog.i, 89 Volume 2 Nomor 1., 89-95.
- Verstraeten SV, Aimo L, Oteiza PI., 2008., Aluminium and lead: molecular mechanisms of brain toxicity. Arch Toxicol. Nov;82(11):789-802.
- Zamheri, A., 2011., Pengaruh waktu stirring, fraksi volume dan ukuran besar butir partikel SiC terhadap kekerasan MMC Al 6061-SiC dengan sistem stir casting., Jurnal Austenit., Vol.03. No. 02., 23-34.
- Z.F. Zhang, L. C. Zhang, Y.W. Mai., 2006., Particle effects on friction and wear of aluminium matrix composites., Journal of Material Science 30., 5999-6004
- .
- .