

STUDI PEMBUATAN PROTOTIPE MATERIAL PISTON BERBASIS PISTON BEKAS DENGAN PENYISIPAN ST 60 DAN BESI COR SERTA PENAMBAHAN ADC 12

Solechan¹⁾, Samsudi Raharjo²⁾

Abstract

The use of aluminum in the automotive industry continued to increase since the year 1980, in particular aluminum alloy used for the manufacture of pistons, engine blocks, cylinder heads and valves. In this study uses the former gasoline engine piston waste recycled into the piston Daihatsu Hi-Jet 1000 with the addition of ADC 12 and insert ST 60 and cast iron. Former Piston who has the composition 87.82 wt% Al, 7,76 wt% Si, 0.775 wt% Fe, 1.40 wt% Cu, 0.368 wt% Mg plus material ADC 12 with insert ST 60 and cast iron which is used as a ring groove piston with gravity casting process in the pouring temperature of 700°C, 750°C and 800°C. The specimens obtained from the casting material above which is a prototype of the piston with insert. The results include the test composition, microstructure, macro-and micro-hardness, shear test. The results of the most high-Si alloy composition on the composition of 25% piston former plus 75% ADC 12 and ADC 12 pure. Show the bonding of microstructure morphology best at the lowest temperature pouring with insert cast iron that has the smallest layer interface and a good bond. Macro and micro hardness ADC 12 hardness highest on the composition of pure and pouring temperature of 700°C with hardness 119.2 HVN and 61.95HRB. The highest shear strength of 27.79 MPa at casting with pouring temperature of 700°C, the composition of pure ADC insert cast iron.

Keywords: prototype of a piston, a former waste material, Daihatsu hi-jet 100, gravity casting.

PENDAHULUAN

Penggunaan paduan aluminium terus meningkat dari tahun ketahun. Hal ini terlihat dari urutan penggunaan logam paduan aluminium yang menempati urutan kedua setelah penggunaan logam besi atau baja, dan diurutan pertama untuk logam non ferro [14]. Paduan aluminium, digunakan untuk pembuatan piston, blok mesin, kepala silinder dan katup. Dimana jumlah kendaraan di Indonesia tahun 2005 mencapai 38.156.278 terdiri dari roda dua 28.556.498 dan roda empat 9.559.780 [12]. Jika hitungan kasar bahwa penggantian kerusakan piston setiap tahunnya 3-4% dikalikan jumlah kendaraan, Indonesia dapat menggunakan piston daur ulang maka dapat menghemat 23 milyar.

Sekarang mobil-mobil klasik atau sudah tua sudah tidak ada lagi *spart part* khususnya piston karena pabrik dari perusahaan mobil sudah tidak memproduksi. Maka dari itu perlu dilakukan reverse engineering untuk pembuatan piston. Proses reverse engineering terdiri dari tiga proses yaitu CAD (*computer aided design*), CAE (*computer aided engineering*) dan CAM (*computer aided manufacturing*) [31]. Salah satu proses yaitu proses CAE mempelajari komposisi dan karakteristik material dalam hal ini material piston.

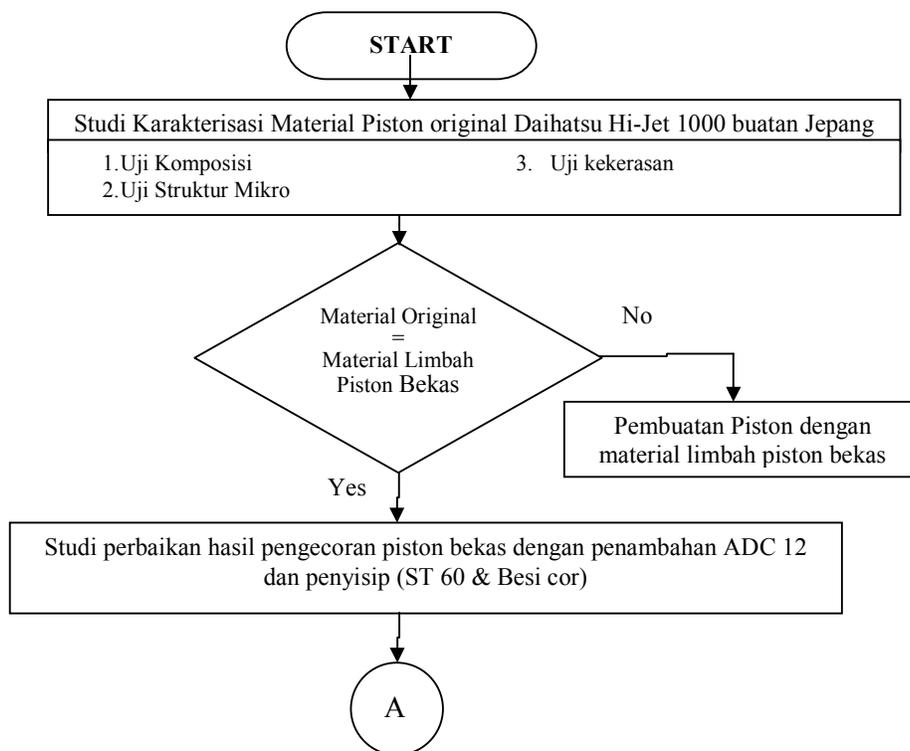
^{1,2)} Dosen Jurusan S-1 Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Semarang (UNIMUS)

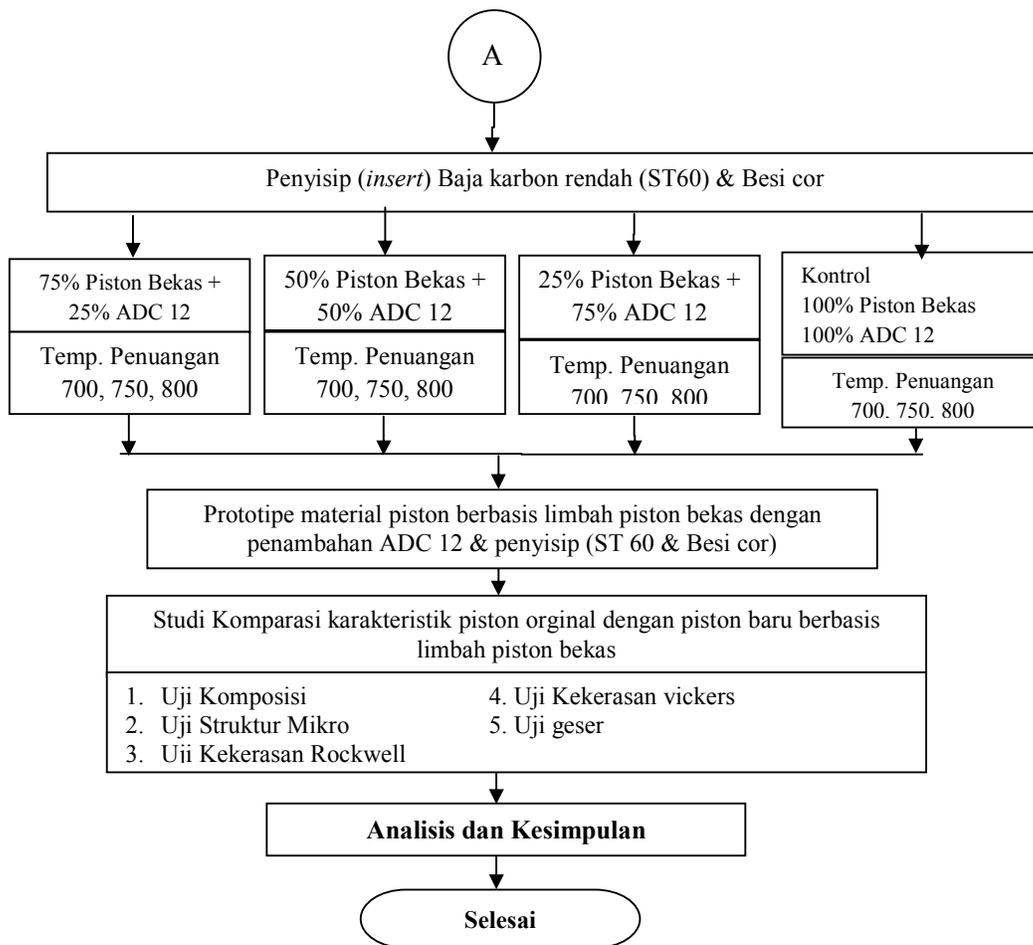
Pada penelitian ini, mempelajari bagaimana membuat piston berbasis material piston bekas ditambah ADC 12 diperkuat penyisip baja karbon rendah ST 60 dan besi cor dengan proses penuangan grafitasi dan menganalisa pengaruh komposisi paduan, penyisip dan temperatur penuangan terhadap struktu mikro, kekerasan dan uji geser (*shear strength*).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian awal yang dilakukan yaitu mencari data-data, baik sifat kimia maupun sifat mekanik material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang yang nanti akan dibuat referensi pembuatan piston. Untuk mengetahui langkah-langkah dalam penelitian ini bisa dilihat pada gambar 1 untuk diagram alir penelitian.

Persiapan material yang pertama piston bekas yang digunakan yaitu piston bekas motor bensin (gambar 2.a) yang sudah dibersihkan dari bahan kimia maupun kerak-kerak yang menempel. Piston dipotong kecil-kecil dengan berat ± 50 gram bertujuan untuk memudahkan membuat benda uji dan mengontrol volume cairan logam.





Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Material kedua ADC 12 (gambar 2.b) sebagai bahan campuran piston bekas yang berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik dari piston. Batangan ADC 12 juga dipotong kecil-kecil dengan ukuran sama untuk mempermudah dalam penimbangan dan memasukan kedalam kowi peleburan. Yang ketiga Penyisip berfungsi untuk alur pertama pada ring piston. Penyisip berbentuk ring dengan ukuran diameter luar 77 mm dan diameter dalam 70 mm (gambar 2.c). ini terbuat dari dua material yang pertama baja karbon rendah (ST60) dan yang kedua besi cor (cast iron).

Pada peralatan pengecoran perlu mempersiapkan cetakan prototype piston, dua dapur peleburan yang dimodifikasi sendiri, thermometer digital, timbangan dan kowi peleburan. Untuk memperjelas langkah-langkah pengecoran pembuatan protipe piston bimetal dapat dilihat pada gambar 3.

Material piston bekas dan ADC 12 yang sudah dipotong kecil ditimbang dulu dengan berat 5 Ons sebelum dimasukan ke kowi, sedangkan penyisip berbentuk ring dimasukan kedalam cetakan. Pengecoran menggunakan dua furnace yang digunakan untuk memanaskan awal

cetakan dan kowi peleburan. Temperatur cetakan 450°C dan suhu temperatur penuangan 700°C, 750°C dan 800°C.



2.a) Piston Bekas



2.b) ADC 12



3.c) Penyisip Pada Ring Piston.

Gambar 2. Material pengecoran



Gambar 3. Langkah-Langkah Pengecoran Pembuatan Prototype Piston Bimetal

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Uji Komposisi kimia

Sebelum melakukan studi kualitas pengecoran ulang limbah piston bekas yang direncanakan sebagai material piston baru, tahap awal yang harus dilakukan adalah melakukan studi karakterisasi material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000. Tujuan dilakukan studi karakterisasi material piston original Daihatsu adalah memperoleh data-data mengenai komposisi, struktur mikro dan kekerasan yang nantinya digunakan sebagai

referensi dalam pembuatan piston baru berbasis material limbah piston bekas. Pada Tabel 1 merupakan hasil uji komposisi kimia material piston original Daihatsu. Sedangkan untuk mengetahui komposisi kimia pada spesimen hasil pengecoran, Pada penelitian ini yang terdiri dua kelompok specimen control, tiga kelompok spesimen penelitian dan dua penyisip. Untuk mengetahui komposisi kimia dari beberapa spesimen dapat dilihat pada tabel 2 dan untuk penyisip besi cor dan baja karbon rendah ST 60 dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 1. Komposisi paduan piston Daihatsu Hi-jet 1000

Paduan	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Sn	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

Tabel 2 Komposisi paduan eksperimen pembuatan piston

Specimen	Unsur Paduan										
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti
Kontrol I Piston bekas	87,82	7,76	0,775	1,40	0,368	0,353	0,036	0,005	1,23	0,06	0,054
Kontrol II ADC 12 Murni	83,35	8,76	0,775	1,11	0,095	1,47	0,023	4,15	0,108	0,032	0,035
75% PB +25% ADC12	86,1	7,9	1,68	1,35	0,513	0,6	0,097	0,659	0,92	0,018	0,041
50% PB + 50% ADC 12	86,5	8,6	0,9	1,19	0,225	0,767	0,047	1,05	0,53	0,022	0,054
25% PB + 75% ADC 12	86,3	8,7	0,73	0,99	0,167	0,997	0,048	1,63	0,34	0,02	0,045

Tabel 3 Komposisi penyisip (*insert*) besi cor

Paduan	Fe	C	Si	Mg	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb
Besi Cor	94,30	3,086	2,012	0,031	0,093	0,035	0,010	0,089	0,0780	0,064	-

Tabel 4 Komposisi penyisip (*insert*) ST 60

Paduan	Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
ST 60	98,87	0,335	0,094	0,560	0,009	0,021	0,094	0,048	0,064

Berdasarkan hasil pengujian komposisi pada kelompok kontrol dapat disimpulkan bahwa kelompok kontrol I (100% piston bekas) memiliki komposisi paduan Al-Si dibawah spesifikasi yang dimiliki paduan Al-Si untuk standart material piston yaitu AA. 333.0 (Tabel 5).

Tabel 5 Komposisi paduan Aluminium AA 333.0 [3]

Paduan	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	dst.
AA 333.0	8-10	1,0	3-4	0,5	0,05-0,5	-	1	-	dst

Sedangkan hasil pengujian komposisi pada piston bekas ditambah ADC 12 yang dicor ulang ditunjukkan pada tabel 2 berdasarkan pengklasifikasian menurut *standart aluminum company of american* masuk paduan AA.333.0 dan dalam standart *Russian aluminum alloys* masuk paduan AK83M memiliki UTS 147 Mpa, EL 1.0% dan kekerasan 70 HRB. Paduan ini memiliki kemampuan untuk menahan korosi, abrasive, koefesien pemuaian rendah dan mempunyai struktur yang baik. Paduan aluminium AA 333.0 merupakan paduan yang digunakan untuk material piston dan komponen otomotif.

Penambahan ADC 12 memiliki pengaruh terhadap persentase Si pada hasil pengecoran limbah material piston menjadi material piston baru. Dimana pada penambahan 25% ADC 12 memiliki persentase Si yang paling kecil yaitu rata-rata 7,93 % Si. Penambahan 75% ADC 12 memiliki persentase Si yang paling besar yaitu rata-rata 8,70 % Si. Penambahan 50% ADC 12 mempunyai perbedaan yang tipis sekali dibandingkan dengan penambahan 75 % ADC 12 yaitu 8,61 % Si (selisih 0,09 %).

Hasil pengujian komposisi baja karbon rendah ST 60 memiliki kandungan C sebesar 0,335 wt% dan Mn 0,56 wt% dalam standart ASTM termasuk jenis 1005 dan pada Uniform Numbering System (UNS) G10100, ST 60 memiliki titik lebur 15000C didaerah austenite ditunjukkan pada diagram keseimbangan Fe-C. Baja karbon rendah ST 60 memiliki kekuatan tarik (tensile strength) 325 Mpa dan keuletan (ductility) 28%EL.

Hasil pengujian komposisi penyisip besi cor (cast iron) memiliki komposisi paduan 3,086 wt% C dan 2,012 wt% Si dalam ASTM (*American Standard Testing and Material*) termasuk kelas A842. Material besi cor memiliki titik lebur 1150 - 1300⁰C pada matrik struktur ferrite. Besi cor jenis ini disebut juga besi cor kelabu karena unsur C masuk 2,5 - 4,0 wt% dan unsur Si antara 1,0 - 3,0 wt% yang Memiliki kekuatan tarik (tensile strength) 276 Mpa.

2. Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro pada penelitian ini bertujuan untuk melihat morfologi dan karakteristik dari hasil pengecoran limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 disertai penyisip ST 60 dan besi cor. Pengujian struktur mikro juga bertujuan untuk mengetahui daerah ikatan antara material penyisip (ST 60 dan basic cor) dengan paduan Aluminium (daerah *interface layer*). Spesimen yang digunakan dalam pengujian struktur mikro terlihat seperti pada gambar 4 dibawah ini:



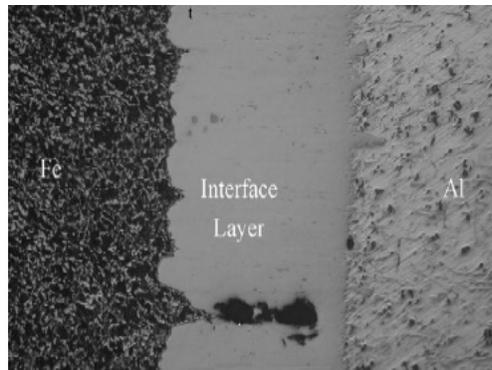
Gambar 4 Spesimen pengujian srtuktur mikro

Pada temperatur penuangan 700⁰C, 750⁰C dan 800⁰C, seiring dengan penambahan ADC 12 ke dalam pengecoran limbah piston bekas dapat meningkatkan % Si dalam paduan. Hal ini bisa terlihat dari semakin bertambahnya matrik Si dan semakin meratanya persebaran pada paduan aluminium. Penambahan ADC 12 juga mempengaruhi ikatan antara penyisip (ST 60 dan besi cor) dengan paduan aluminium. Dimana semakin meningkat penambahan ADC 12 ikatan antara penyisip (ST 60 dan besi cor) dengan paduan aluminium semakin rapat ini juga dipengaruhi temperatur penuangan yang rendah untuk mengetahui ketebalan interface layer bisa dilihat pada tabel 6.

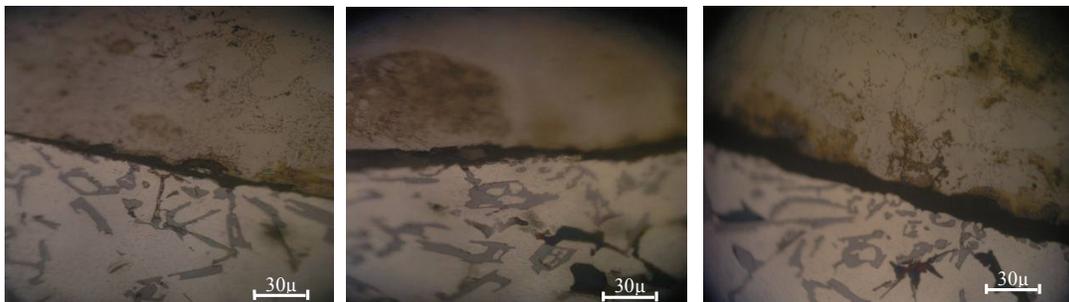
Tabel 6 ketebalan interface layer piston bimetal

Specimen	Ketebalan (μm)					
	ST 60			Besi cor		
	700C	750C	800C	700C	750C	800C
Piston bekas	10	14	16	11	15	16
75 PB + 25 ADC	9	12	13	10	14	15
50 PB + 50 ADC	8	12	12	10	12	14
25 PB + 75 ADC	8	10	9	9	11	13
ADC 12	6	7	8	7	9	11

Hal diatas dimungkinkan dengan adanya penambahan ADC 12 mengurangi keberadaan *impurity* atau kotoran akibat penggunaan material limbah piston bekas. Dengan adanya *impurity* yang kecil maka laju defusi Fe ke cairan aluminium lebih optimal. Seperti diketahui bahwa afinitas logam aluminium terhadap besi (Fe) sangat tinggi, sehingga reaksi fisika-kimia antar muka (*interface reaction*) mudah terjadi [32]. *Interface reaction* yang terjadi akan menghasilkan pembentukan *intermetalik Fe - Al - Si* pada ruang antar penyisip (ST 60 dan besi cor) dengan paduan aluminium (Gambar 5).



Gambar 5 Intermetalik Fe - Al - Si pada Interface layer hasil dari interaksi antara Fe dengan Al



Gambar 6. Ketebalan interface layer

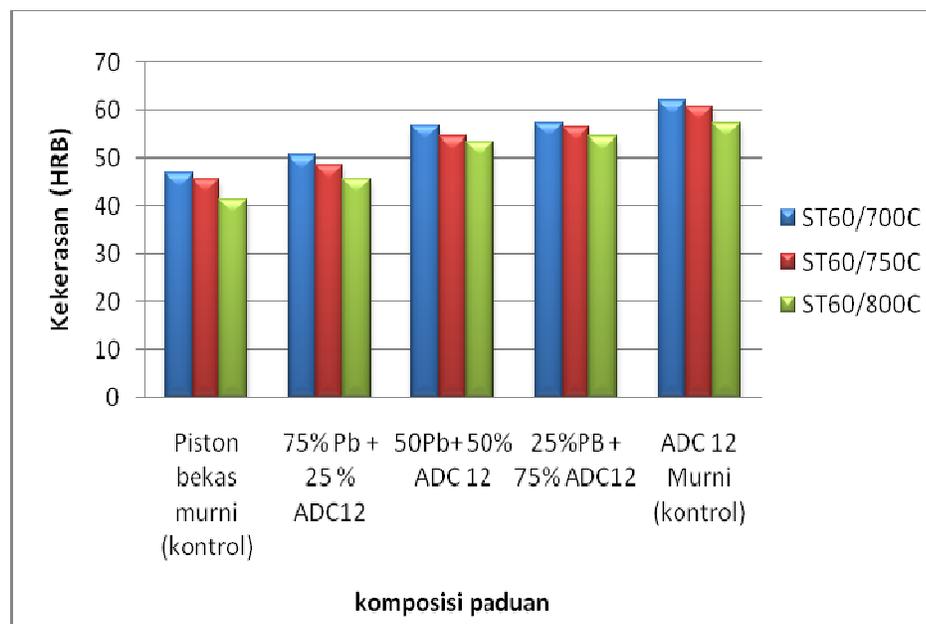
a) temperatur penuangan 700C b) temperatur penuangan 750C c). temeptratur penuangan 800C

Jarak *Interface layer* yang terbentuk pada setiap temperatur penuangan berbeda – beda baik pada penyisipan ST 60 maupun besi cor. Dimana seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan maka jarak *interface layer* yang terbentuk semakin besar. Pada temperatur 700⁰C jarak *interface layer* yang terjadi paling kecil atau rapat sedangkan pada temperatur 800⁰C jarak *interface layer* yang terjadi paling besar (gambar 6). Hal ini dikarenakan pada temperatur 700⁰C lebih dekat dengan temperatur pemanasan cetakan

yaitu 450 °C sehingga laju pembekuan yang terjadi lebih cepat sedangkan pada temperatur 800 °C memiliki laju pembekuan yang lebih lama. Cepat dan tidaknya laju pembekuan suatu logam akan berpengaruh terhadap bentuk kristal yang terjadi diduga hal ini juga mempengaruhi terjadinya *Interface reaction* yang terjadi.

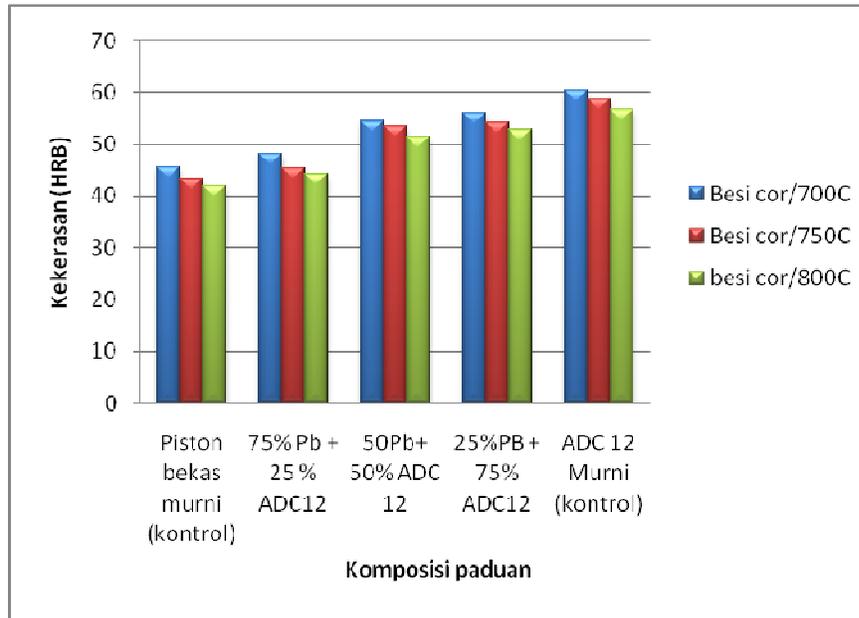
3. Kekerasan makro

Pengujian kekerasan makro pada penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penambahan ADC 12 yang disertai penyisipan ST 60 dan besi cor pada prototype material piston bimetal berbasis limbah piston bekas. Pada penelitian ini pengujian kekerasan makro menggunakan *Rockwell hardness tester* dengan indentor bola (*ball*) (HRB).



Gambar 7. Kekerasan makro hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan penyisipan ST60 (HRB)

Pada pengujian kekerasan makro untuk penyisip ST 60 maupun penyisip besi cor, baik pada temperatur penuangan 700°C, 750°C dan 800°C secara rata-rata seiring dengan penambahan material ADC 12 nilai kekerasan makro yang dihasilkan cenderung menunjukkan grafik yang meningkat. Fenomena ini terlihat seperti ditunjukkan oleh grafik pada gambar 7 dan 8. Hasil pengujian kekerasan makro ini secara langsung memberikan penguatan atas hasil pengujian komposisi dan struktur mikro yang telah dilakukan, dimana secara komposisi penambahan ADC 12 meningkatkan kandungan unsur Si dan secara struktur mikro penambahan ADC 12 meningkatkan jumlah matrik SI dalam paduan aluminium.



Gambar 8. Kekerasan makro hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan penyisipan besi cor (HRB)

Untuk bertambahnya temperatur penuangan baik pada penyisip ST 60 maupun besi cor nilai kekerasan makro cenderung menurun. Tingginya nilai kekerasan pada temperatur penuangan 700°C baik pada penyisip ST 60 maupun besi cor, hal ini dimungkinkan memiliki laju pembekuan yang lebih cepat dibandingkan temperatur penuangan yang lain.

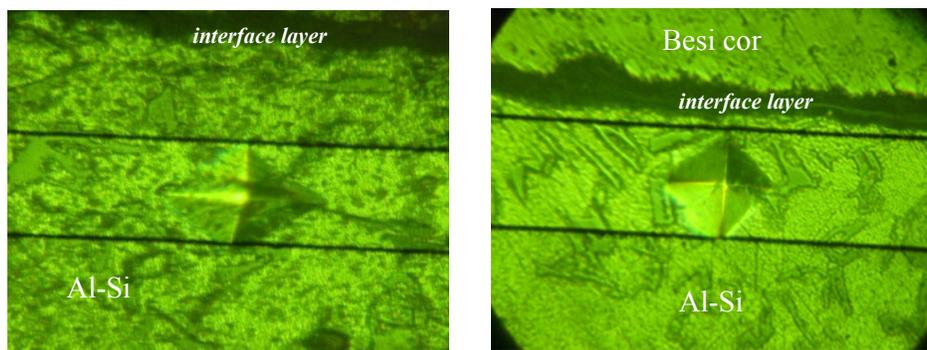
Hasil kekerasan rata-rata tertinggi pada penyisip ST 60 yaitu 56,4 HRB (specimen dengan komposisi 25 PB + 75 % ADC12 dengan temperatur penuangan 700°C) dan pada penyisip besi cor yaitu 56,01 HRB (specimen dengan komposisi 25 PB + 75 % ADC12 dengan temperatur penuangan 700°C). Hasil kekerasan tertinggi tersebut jika dibandingkan dengan kekerasan material piston original Daihatsu (76,0 HRB) dan *standart aluminum company of american AA.333.0* masih dibawahnya. Sehingga perlu dilakukan usaha peningkatan kekerasan prototype material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 disertai penyisipan ST 60 dan besi cor dengan cara perlakuan panas (*heat treatmen*).

4. Kekerasan mikro

Pengujian kekerasan mikro ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan didaerah sekitar *interface layer* yang berupa lapisan *intermetallic*. Dengan meningkatnya kadar Fe dalam lapisan *intermetallic* yang terbentuk akan mengakibatkan peningkatan kekerasan

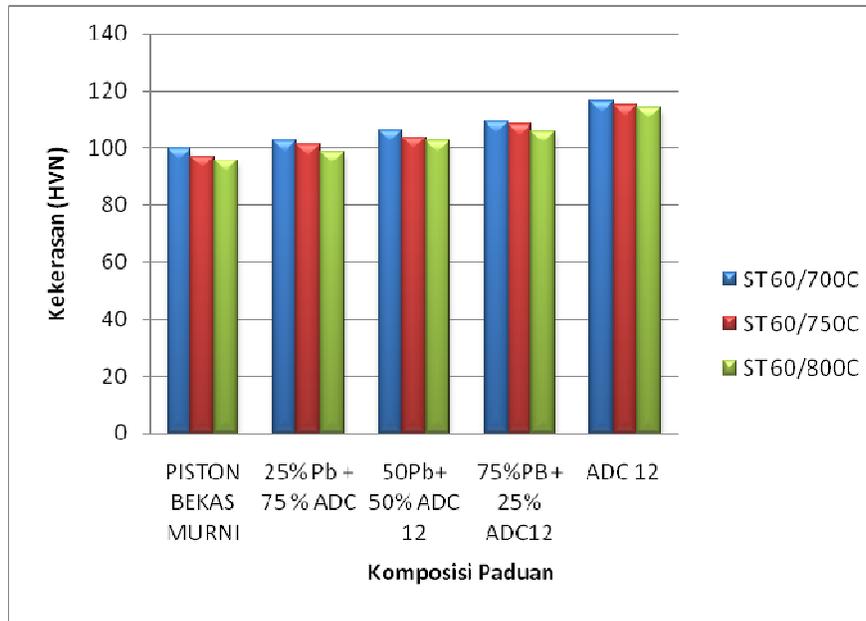
[36]. Alat yang digunakan untuk menguji kekerasan menggunakan *Vickers hardness* dengan beban 200 gram selama 10 detik. Hasil pengujian *Vickers hardness* dapat dilihat pada Gambar 9 berikut ini.

Pada pengujian kekerasan makro sekitar interface untuk penyisip ST 60 maupun penyisip besi cor, baik pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800 °C secara rata-rata seiring dengan penambahan material ADC 12 nilai kekerasan mikro pada sekitar interface yang dihasilkan cenderung menunjukkan grafik yang meningkat. Fenomena ini terlihat seperti ditunjukkan oleh grafik pada gambar 10 dan 11. Seperti halnya pada pengujian kekerasan makro, seiring dengan bertambahnya temperatur penuangan baik pada penyisip ST 60 maupun besi cor nilai kekerasan mikro daerah sekitar interface cenderung menurun. Tingginya nilai kekerasan pada temperatur penuangan 700 °C baik pada penyisip ST 60 maupun besi cor, hal ini dimungkinkan memiliki laju pembekuan yang lebih cepat dibandingkan temperatur penuangan yang lain.

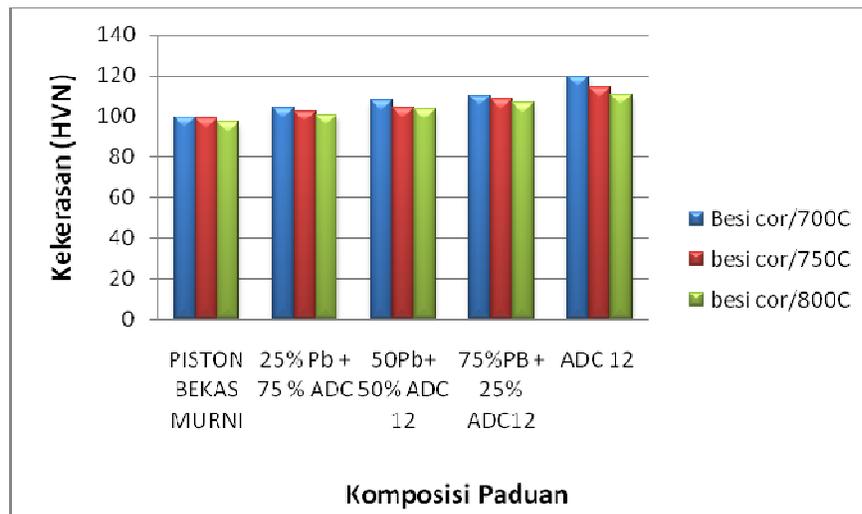


Gambar 9. Pengujian kekerasan mikro dengan Vickers hardness

Pada kekerasan sekitar interface antara ST 60 dan besi cor yang memiliki nilai kekerasan paling optimal dimiliki oleh besi cor ini bisa dilihat pada gambar 10 dan 11. Hal ini disebabkan dikarenakan faktor *wetting ability* (kemampuan keterbasahan) cairan aluminium dalam menjaga kontak dengan permukaan padat (penyisip). Besi cor dan ST 60 mempunyai perbedaan temperatur cair dimana ST 60 dengan cair 1550°C lebih tinggi dibandingkan besi cor 1150°C, sehingga ketika terjadi pemanasan awal pada penyisip dan cetakan pada suhu 450°C, besi cor lebih mengalami pemanasan yang lebih optimal dan sudah mengalami perubahan fase dibandingkan ST 60. Sehingga ada waktu pembekuan bersamaan.



Gambar 10 Kekerasan mikro sekitar interface hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan penyisipan ST60 (HRB)



Gambar 11. Kekerasan mikro sekitar interface hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan penyisipan besi cor (HRB)

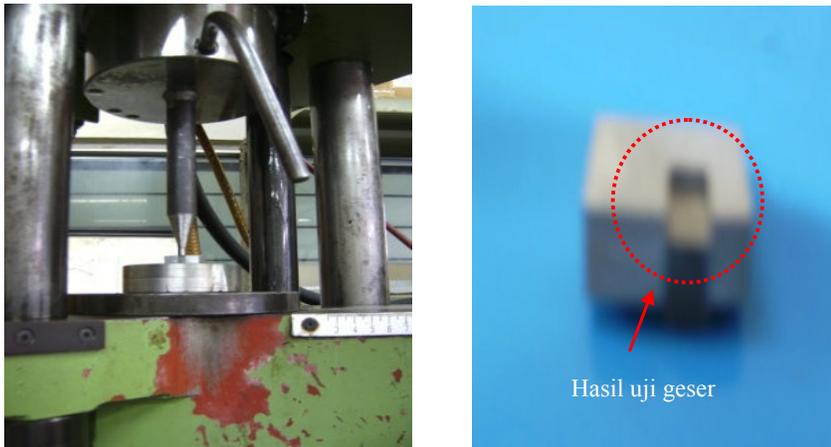
5. Kekuatan Uji geser (shear strength)

Untuk mengetahui kekuatan ikatan interface antara aluminium dan ST 60 dan aluminium dengan besi cor dilakukan uji geser dengan menggunakan UTM (*universal testing machine*) metode *pushout test*. Pada pengujian geser ini karena spesimen yang

terlalu kecil maka dikembangkan alat bantu berupa penekan dengan diameter 4 mm, beban skala 20 Newton dengan kecepatan 2 mm/menit (Gambar 12).

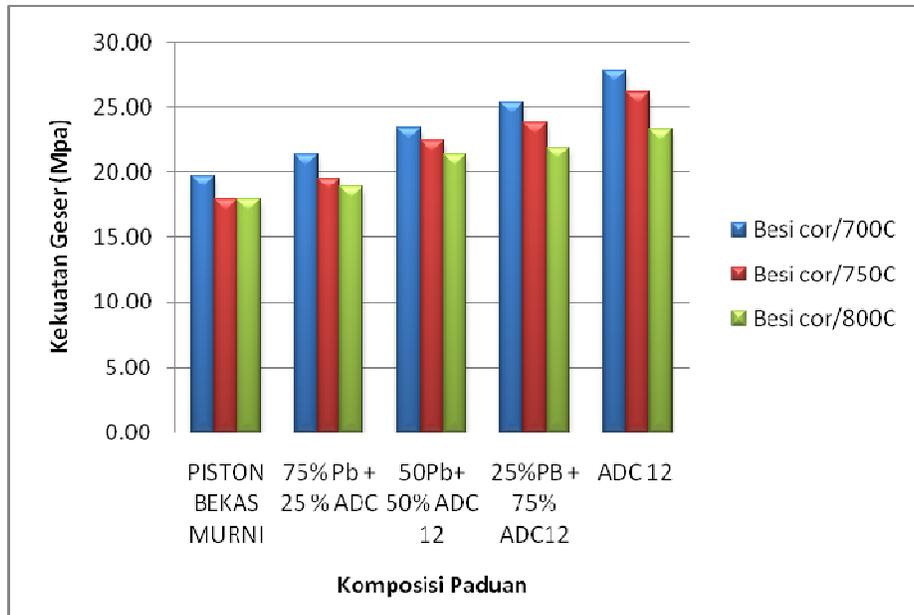
Pada pengujian kekuatan geser lapisan intermetalik untuk penyisip ST 60 maupun penyisip besi cor, baik pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800 °C secara rata-rata seiring dengan penambahan material ADC 12 nilai kekuatan geser pada lapisan intermetalik yang dihasilkan cenderung menunjukkan grafik yang meningkat. Fenomena ini terlihat seperti ditunjukkan oleh grafik pada gambar 4.13 dan 4.14.

Hasil penelitian ini mendukung dan sejalan dengan hasil pengujian komposisi. Dimana dengan penambahan ADC12, *interface reaction* yang terjadinya lebih optimal, sehingga menghasilkan pembentukan *intermetalik Fe - Al - Si yang lebih kuat* pada ruang antar penyisip (ST 60 dan besi cor) dengan paduan Al.

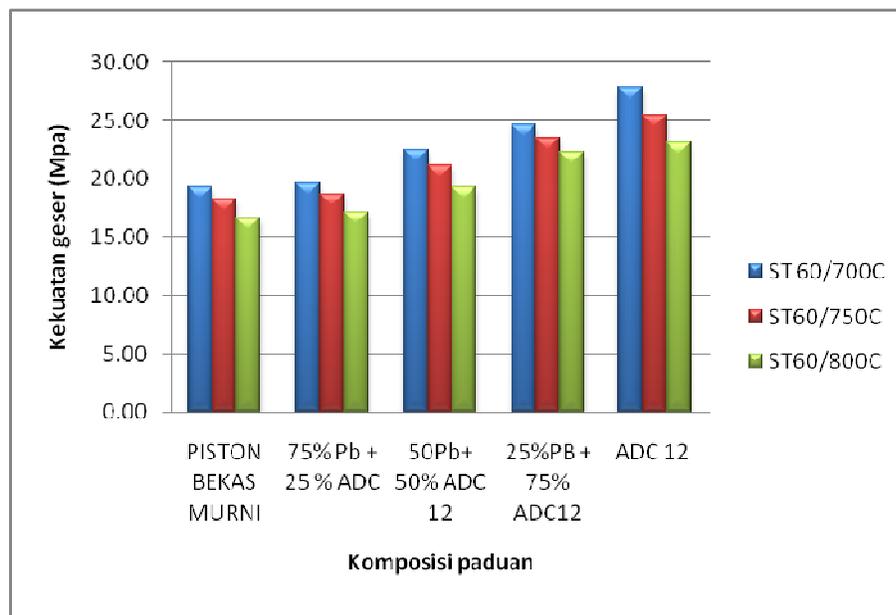


Gambar 4.12 Pengujian Geser dengan UTM

Dari pengujian kekuatan geser baik pada variasi penambahan ADC 12 maupun variasi temperatur penuangan, sebagian besar kekuatan geser pada penyisip besi cor lebih tinggi dibandingkan dengan penyisip ST 60. Hal ini dikarenakan faktor *wetting ability* (kemampuan keterbasahan) cairan aluminium yaitu kemampuan cairan aluminium dalam menjaga kontak dengan permukaan padat (penyisip) yang dihasilkan dari interaksi intermolekuler ketika cairan aluminium digabung bersama-sama dengan penyisip (ST 60 dan besi cor) (Viala, J. C. dkk.:2002).



Gambar 4.13 Kekuatan geser lapisan intermetalik hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan penyisipan ST60



Gambar 4.14 Kekuatan geser lapisan intermetalik hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan penyisipan besi cor

Besi cor dan ST 60 mempunyai perbedaan temperatur pencairan di mana ST 60 mempunyai titik cair (1550°C) lebih tinggi dibandingkan besi cor (1150°C). Sehingga ketika terjadi pemanasan penyisip (450°C) besi cor lebih mengalami pemanasan lebih

optimal dibandingkan ST 60. Dengan pemanasan yang lebih optimal maka cairan aluminium yang dituang kedalam cetakan dengan penyisip besi cor mempunyai *wetting ability* yang lebih baik dibanding penuangan pada cetakan dengan penyisip ST 60. Seperti diketahui *wetting ability* dipengaruhi oleh keseimbangan gaya adhesif dan kohesif logam cair dan logam padat yang dipadukan. Sehingga kekuatan geser penyisip besi cor lebih kuat dibandingkan penyisip ST60.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang telah dilakukan maka bisa diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Limbah piston bekas tidak bisa digunakan lagi untuk pembuatan piston dikarenakan komposisi dan kekerasan material piston dibawah standar piston original Daihatsu Hi-jet 100 seiring dengan penambahan ADC 12 ke dalam pengecoran limbah piston bekas dapat meningkatkan komposisi Si dan kekerasan dalam paduan.
2. Penambahan ADC 12 juga mempengaruhi ikatan antara penyisip (ST 60 dan besi cor) dengan paduan aluminium. seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan maka jarak *interface layer* yang terbentuk semakin besar.
3. Dengan adanya *impurity* yang kecil pada 25% piston bekas dan 75% ADC 12 maka laju difusi Fe ke cairan aluminium lebih optimal. Seperti diketahui bahwa afinitas logam aluminium terhadap besi (Fe) sangat tinggi, sehingga reaksi fisika-kimia antar muka (*interface reaction*) mudah terjadi.
4. Pada temperatur penuangan rendah jarak *interface layer* yang terjadi paling kecil atau rapat sedangkan pada temperatur penuangan terbesar jarak *interface layer* yang terjadi paling besar. Hal ini dikarenakan pada temperatur penuangan rendah lebih dekat dengan temperatur pemanasan cetakan. sehingga laju pembekuan yang terjadi lebih cepat sedangkan pada temperatur penuangan tinggi memiliki laju pembekuan yang lebih lama.
5. Untuk kekerasan antara ST 60 dan besi cor yang memiliki nilai kekerasan paling optimal dimiliki oleh besi cor. Dan pengujian kekuatan geser baik pada variasi penambahan ADC 12 maupun variasi temperatur penuangan, sebagian besar kekuatan geser pada penyisip besi cor lebih tinggi dibandingkan dengan penyisip ST 60.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM Handbook, Volume 1.*, 2005 Properties and Selection.
ASM Metal Handbook Vol.8 ., 1998

- ASM Handbook, Vol. 15.*, 1998
- Budinski., 2001,” *Engineering Materials Properties and Selection*,” PHI New Delhi, pp. 517–536.
- Bambang Suharno., 2007., *Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Reaksi Antarmuka Paduan Aluminium 7%-Si dan Aluminium 11%Si Dengan Baja cetakan SKD 61*. 85-91.
- Durrant, G., Gallerneault, M., Cantor, B.,1996, “*Squeeze cast aluminum reinforced with mild steel inserts*” *J Mater Science*, 31 pp. 589–602.
- Duskiardi., Soejono Tjitro., 2002., *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Material Piston Komersial Lokal*.
- Hari subiyanto., subowo., (2008) *pengaruh temperatur penuangan aluminium A-356 pada proses pengecoran terhadap sifat mekanis dan struktur mikro coran*.
- John R. Brown., 1994, *feseco Non-Ferrous Foundryman’s Handbook Eleventh edition Revised and edited*
- Kim, W. J., *et al* 2005, “*Corrosion performance of plasma sprayed Cast Iron coatings on Aluminum alloy for automotive component*,” *Surface coating and Technology*, 200 pp 1162-67.
- Kepolisian Republik Indonesia [2005], *Jumlah Kendaraan Bermotor menurut Jenisnya, Indonesia 1987-2005*
- MM Resources Limited , China
- Noorsy. 2007, *impor Aluminium akan melonjak*, Sinar Harapan, 5542.
- Neff, D.V.,2002, *Understanding Aluminium Degassing*, *Modern Casting*, May 2002, p.24-26.
- Smith, F. William. 1995. *Material Science and engineering. (second edition)*. New York: Mc Graw- Hill inc.
- Surdia, Tata & Saito, Shinroku. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik. (edisi kedua)*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Suhariyanto .,2002., *Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC*
- Shankar, Sumanth and Diran Apelian. *Die Soldering: Mechanism of the Interface Reaction Between Molten Aluminum Alloy and Tool Steel*.*Metallurgical And Materials Transactions* Vo. 33B(2002) 46
- Stephen Chastain., 2004., *Making piston for experiment and restoration enginens.*, ISBN 0-9702203-4-0.

- Vaillant ,P., Petitet, J. P.,1995, “*Interactions under hydrostatic pressure of mild steel with liquid aluminum alloys.*” *JMater Science* 30 pp 4659–4668
- Vinesh Raja and Kiran J. Fernandes,. (2008) *Reverse Engineering An Industrial Perspective.*, Springer Science+Business Media.
- Wang ,Y .,et al, 2005, “*Scuffing resistance of coated piston skirts run against cylinder bores*” *Wear*” 259, pp. 1041–1047.
- Wahyudi K dan Tiendas. (1996), *Pengaruh unsur Si, Cu, Zn terhadap peningkatan kekerasan paduan aluminium.* 734-736