

ANALISA SIFAT FISIS DAN MEKANIS *PULLEY* HASIL CORAN DENGAN BAHAN TAMBAH PISTON BEKAS

Suparjo

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Sriwijaya
Jln. Srijaya Negara Bukit Besar Palembang-30139
E-mail: suparjo@polsri.ac.id

ABSTRACT

Material development of parts and tools is done to get more advantage than its raw material, especially in its application in some operational. The one of recycle material is an unused piston. Piston is a motorcycle component that uses to press an air in the motorcycle cylinder, to generate work or power. Because of life time or damage, a piston is break or wear (the most damage of piston is wear). Refer on above back-ground; this research is conducted to enhance the mechanical and physical properties of pulley with an unused piston as an additive material. A piston material is chosen because it is an aluminum alloy with the better composition and better amount than the other unused aluminum. The orientation of this research is product development of small scale industry casting. The contribution of this research is to enhance the product quality and product quantity so that it can compete with other same product from the big scale industry. The aluminum alloy of unused piston from small scale industry has composition : Al (84,76%), Si (1,04%), Fe (1,04%), Cu (2,17%), Mn (0,24%), Zn (3,53%), Sn (0,07%), Pb (0,18), Ti (0,06), and others (0,14%). As soon as heat treatment process, the Brinell Hardness Number (BHN) is 125,76, which before the process is 59,19. The composition of element of aluminum alloy will raise the mechanical properties of the pulley from home industry. And then, the distributing of element can influence the surface hardness, which more evenly distribute is more evenly its surface hardness.

Keywords: pulley, piston, recycle, mechanical properties, Brinell hardness number.

PENDAHULUAN

Salah satu tujuan terpenting dalam pengembangan material adalah menentukan apakah struktur dan sifat-sifat material sudah optimum agar daya tahan terhadap korosi dan keausan dicapai maksimum. Permasalahan yang dihadapi oleh industri kecil pengecoran yang ada di Palembang dan sekitarnya adalah penggunaan bahan daur ulang aluminium yang kurang berkualitas seperti kaleng, panci dan alat-alat rumah tangga lainnya.

Untuk produk industri kecil yang tidak membutuhkan kekuatan tinggi seperti sendok, hiasan dan berbagai perlengkapan rumah tangga lainnya, material daur ulang jenis ini tidak bermasalah. Namun untuk produk komponen yang mendapat beban dinamis seperti *pulley*, kopling, atau baling-baling, maka material daur ulang jenis ini akan menghasilkan produk yang kurang layak, karena komposisi materialnya hanya berupa aluminium murni yang memiliki sifat mekanik yang lebih rendah dibandingkan dengan paduan aluminium. Untuk membantu permasalahan yang dihadapi oleh industri kecil inilah, maka pemanfaatan material piston daur ulang yang memiliki sifat mekanis yang lebih baik akan dihasilkan produk yang berkualitas dengan harga yang bersaing dengan produk sejenis. Bertolak dari masalah tersebut maka, dikembangkanlah inovasi material cor yang berkualitas dan murah.

Salah satu material daur ulang yang mudah dan banyak persediannya adalah piston bekas. Kasus kerusakan pada suku cadang ini yang sering ditemui pada alat transportasi selama ini adalah keausan piston. Keausan pada piston dikarenakan kondisi kerja piston yang bekerja pada

suhu yang tinggi, tekanan yang besar dan gaya gesek secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama, sehingga piston mengalami keausan. Hal inilah yang menyebabkan komponen piston perlu dilakukan penggantian dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan penggunaan, dan akhirnya banyak sekali piston bekas yang dimanfaatkan sebagai barang yang tidak mempunyai nilai tambah. Untuk alasan inilah maka penelitian ini dilakukan.

Permasalahan yang dibahas dalam tulisan ini menyangkut rendahnya kualitas produk cor yang dihasilkan karena penggunaan material yang asal-asalan, tidak mempertimbangkan komposisi material yang akan di daur ulang. Yang terjadi adalah produk sulit bersaing dengan produk sejenis yang dihasilkan oleh industri besar, baik dari sisi kualitas, kuantitas maupun harga.

Tujuan yang diharapkan dari penelitian ini adalah membantu industri kecil pengecoran dalam menentukan material daur ulang yang cocok untuk bahan pembuat *pulley*, dan melakukan pengujian sifat mekanik dan karakteristik piston bekas apakah material tersebut dapat dimanfaatkan sebagai material proses pengecoran *pulley*.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian sifat mekanik variasi spesimen cor dari piston bekas dan spesimen non piston, dan dari variasi ini akan diperoleh data dan informasi mengenai karakteristik spesimen. Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah:

- Observasi yaitu proses pengumpulan data tentang pengecoran aluminium dan membandingkan dengan data literatur yang ada

sehingga akan didapat hipotesis awal tentang sifat material cor.

- Perencanaan yaitu merencanakan ukuran-ukuran spesimen uji yang sesuai standar ASME. Tahapan diawali dengan proses pengecoran material spesimen, selanjutnya material spesimen dibentuk sesuai dengan ukuran dalam standar ASME.
- Pengujian material yaitu proses pengujian spesimen meliputi uji kekerasan permukaan, uji komposisi dan uji struktur mikro.
- Analisa data hasil pengujian yaitu tahapan dimana data hasil pengujian diolah dan dianalisa untuk diambil kesimpulan.

TINJAUAN PUSTAKA

Piston dalam bahasa Indonesia juga dikenal dengan istilah torak adalah komponen dari mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*) yang berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima hentakan pembakaran pada ruang bakar silinder liner. Piston bekerja tanpa henti selama mesin hidup. Komponen ini mengalami peningkatan temperatur dan tekanan tinggi sehingga mutlak harus memiliki daya tahan tinggi. Oleh karena itu, pabrikan kini lebih memilih paduan aluminium (Al-Si) sebagai bahan piston, oleh karena paduan ini diyakini mampu meradiasikan panas yang lebih efisien dibandingkan material lainnya.

Piston bekerja pada temperatur tinggi, maka pada bagian-bagian tertentu seperti antara diameter piston dan diameter silinder ruang bakar diberi celah. Celah ini secara otomatis akan berkurang (menjadi presisi/rapat) ketika komponen-komponen itu kenaikan suhu. Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya kebocoran kompresi.

Ukuran celah piston bagian atas lebih besar dibandingkan bagian bawah. Ukuran ini bervariasi tergantung dari jenis mesinnya, biasanya antara 0,02 hingga 0,12 mm. Ukuran celah ini sangat penting, karena bila terlalu kecil akan menyebabkan tidak ada celah antara piston dan silinder ketika kondisi panas, dan ini akan menyebabkan piston bisa menekan silinder dan merusak mesin. Sebaliknya, bila ukuran celah terlalu besar, tekanan kompresi dan tekanan gas hasil pembakaran akan menjadi rendah, akibatnya mesin kendaraan pun tidak bertenaga dan mengeluarkan asap.

Aluminium bisa dipakai sebagai paduan berbagai logam murni, sebab tidak kehilangan sifat ringan dan sifat-sifat mekanis lainnya, serta mampu cornya diperbaiki dengan menambah unsur-unsur lain. Unsur-unsur paduan itu adalah tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium.

Paduan Al-Si yang telah di-*heattreatment* dinamakan *silumin*. Sifat-sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Paduan Al-Si yang

memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas. Bahan paduan ini biasa dipakai untuk torak/piston motor. (Surdia dan Saito, 1992).

Paduan aluminium yang lain yang lebih kuat lagi yaitu Al-Cu dan Al-Cu-Mg dinamakan *duralumin*. Paduan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4%Cu dan 0,5%Mg serta dapat mengeras dengan sangat dalam beberapa hari oleh penuaan dalam temperatur biasa atau *natural aging* setelah *solution heat treatment* dan *quenching*. Studi tentang logam paduan ini telah banyak dilakukan, salah satunya adalah Nishimura yang telah berhasil dalam menemukan senyawa *terner* yang berada dalam keseimbangan dengan Al, yang kemudian dinamakan senyawa S dan T. Ternyata senyawa S (Al₂CuMg) mempunyai kemampuan penuaan pada temperatur biasa. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg dipakai sebagai bahan dalam industri pesawat terbang (Surdia dan Saito, 1992).

Paduan Al-Mn, Mangan (Mn) adalah unsur yang memperkuat aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan terhadap korosi. Paduan Al-Mn dalam penamaan standar AA adalah paduan Al 3003 dan Al 3004. Komposisi standar dari paduan Al 3003 adalah Al, 1,2% Mn, sedangkan komposisi standar Al 3004 adalah Al, 1,2% Mn, 1,0% Mg. Paduan Al3003 dan Al 3004 digunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas.

Paduan Al-Mg dengan komposisi 2 – 3% Mg adalah paduan yang mudah ditempa, dicanai (*roll*) dan diekstrusi. Paduan Al 5052 adalah paduan yang paling kuat dalam sistem ini, dipakai setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. Paduan Al 5083 yang dianil adalah paduan antara (4,5% Mg) kuat dan mudah dilas oleh karena itu sekarang dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG (Surdia, 1995).

Paduan Al-Mg-Si dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan-paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka-rangka konstruksi, karena paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan yang cukup baik tanpa mengurangi hantaran listrik, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi juga digunakan untuk kabel tenaga.

Paduan Al-Mn-Zn, ditemukan di Jepang pada permulaan tahun 1940. Iragashi dan kawan-kawan mengadakan studi dan berhasil dalam pengembangan suatu paduan dengan penambahan kira-kira 0,3% Mn atau Cr dimana butir kristal padat diperhalus dan mengubah bentuk presipitasi serta retakan korosi tegangan (*stress corrosion cracking*) tidak terjadi. Pada saat itu paduan

tersebut dinamakan *ESD* atau *duralumin super ekstra*. Selama perang dunia ke dua di AS dengan maksud yang hampir sama, telah dikembangkan pula suatu paduan yaitu Al, 5,5% Zn, 2,5% Mn, 1,5% Cu, 0,3% Cr, dan 0,2% Mn yang sekarang dinamakan paduan Al-7075. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan-paduan lainnya. Penggunaan paduan ini paling besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara, disamping itu juga digunakan dalam bidang konstruksi (Surdia dan Saito, 1992).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk meningkatkan sifat mekanis paduan aluminium daur ulang. Untuk meningkatkan sifat mekanis dapat dilakukan dengan penambahan unsur-unsur logam transisi yang dapat menyebabkan proses pengerasan larutan padat seperti unsur tembaga (Cu), seng (Zn), besi (Fe), magnesium (Mg) dan proses perlakuan panas (pengerasan endapan).

Produksi bahan harus memiliki kekuatan memadai baik dalam temperatur ruang ataupun dalam temperatur tinggi pada saat material tersebut digunakan. Penambahan unsur dengan pengerjaan dingin akan meningkatkan kekuatan luluh. Tetapi pada beberapa jenis paduan, kekerasan dapat ditingkatkan dengan proses perlakuan panas. Pada logam non ferro, proses pengerasan tersebut dinamakan pengerasan endapan (*precipitation hardening*) (Smith, 1993).

Proses ini dapat terjadi akibat batas kelarutan padat susut dengan menurunnya temperatur. Pada paduan aluminium, temperatur tinggi menyebabkan paduan berupa larutan padat α yang homogen. Namun bila didinginkan menjadi jenuh dengan fase ke dua θ , pada temperatur yang lebih rendah θ mengendap dan terjadilah pengerasan kisi. Pada proses perlakuan panas, pengerasan paduan dipanaskan hingga temperature yang cukup tinggi agar terjadi pelarutan, disusul dengan proses pendinginan cepat dengan mencelupkannya ke dalam air atau media pendingin lainnya. Proses pendinginan cepat ini mencegah terjadinya pemisahan fase θ . Pada temperatur rendah paduan berada dalam keadaan lewat jenuh yang tidak stabil, namun setelah pencelupan, paduan dibiarkan untuk jangka waktu tertentu akan terjadi penuaan (*aging*) dan fase kedua yang mengalami proses pengerasan (Hatch, 1995).

Presipitasi terjadi melalui proses nukleasi dan pertumbuhan fluktuasi dalam konsentrasi larutan menimbulkan terjadinya kluster atom kecil dalam kisi yang nantinya akan menjelma menjadi inti presipitat. Laju pertumbuhan inti dikendalikan oleh laju migrasi atom, sehingga presipitasi meningkat dengan naiknya temperature aging. Akan tetapi presipitat semakin halus bila temperature tertentu dimana aging berlangsung lama akan menyebabkan pengasaran presipitat (Hatch, 1995).

Partikel halus yang terdispersi dalam jumlah banyak secara berangsur digantikan oleh partikel yang lebih kasar dengan jumlah yang lebih sedikit. Bila ini terjadi, hal ini akan menyebabkan material lebih lunak karena jarak antar partikel lebih besar.

Penggunaan material bekas yang berkualitas seperti piston bekas dapat meningkatkan sifat mekanis bahan, bahan yang dipergunakan bermacam-macam Cu, Zn, Pb, Sn, Mo dan sebagainya. Akan tetapi hal ini terkadang tidak dapat dilaksanakan karena mahalnya harga unsur tersebut. Proses penambahan unsur ini dilakukan pada saat terjadinya pencairan logam, pada saat pembekuan terjadi proses intersisi atau substitusi atom (Jastrzebski, 1976).

Pembekuan coran dimulai dari bagian yang bersentuhan dengan cetakan, kemudian inti-inti kristal tumbuh, ukuran dari butiran pada daerah ini relatif lebih kecil dan disebut dengan *chill zone*. Bagian dalam dari coran lebih lambat mendingin dari pada bagian luarnya, sehingga kristal yang tumbuh dari inti asal mengarah ke bagian dalam coran dan butir-butir kristal tersebut memanjang seperti kolom (*Columnar Zone*). Struktur ini muncul dengan jelas apabila *gradient temperature* yang besar terjadi pada permukaan coran dengan ukuran besar. Bagian tengah (*Central Zone*) mempunyai *gradient temperature* kecil sehingga ukuran butir relatif lebih besar dibandingkan *Chill Zone* dan daerah ini merupakan susunan dari butir-butir kristal segi banyak dengan orientasi sembarang.

Proses memadukan atau memasukan atom larut sebagai larutan padat dalam kisi atom pelarut selalu menghasilkan paduan yang lebih kuat dari logam murni. Jika atom terlarut dan atom pelarut memiliki ukuran yang sama besar, atom larut akan menempati tempat kisi (*lattice point*) dalam kisi kristal atom pelarut. Proses ini disebut larutan padat substitusi. Kalau ukuran atom larut jauh lebih kecil dari pada atom pelarut, maka atom larut menduduki posisi sisipan dalam kisi pelarut, dan proses ini disebut larutan padat intersisi atau sisipan (*Interstitial Solid Solution*) (Smith, 1993). Atom karbon, nitrogen, oksigen dan boron biasanya sering digunakan sebagai atom laut.

Keuletan paduan aluminium pada temperatur kamar dapat diperbaiki dengan menambahkan unsur paduan dengan sifat yang lebih ulet ke dalam struktur mikro material. Unsur tersebut dapat berupa tembaga, seng, besi, magnesium dan silikon.

Komposisi material sangat berpengaruh terhadap sifat mekanis dan sifat fisis suatu material. Proses pengujian komposisi terhadap material uji dalam penelitian ini dilakukan terhadap paduan aluminium produk pengecoran industri kecil. Material yang dihasilkan berasal dari bahan-bahan bekas yang didaur ulang. Pengujian komposisi bahan menggunakan peralatan Poertaspec X-Ray Spectrograph Model 2501 (*Non Destructif Test*).

Dari proses pengujian didapat data komposisi aluminium adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Komposisi bahan paduan aluminium hasil pengecoran industri kecil (bahan daur ulang bukan Piston)

	Komposisi Unsur (%)										
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Sn	Pb	Ti	Lain	
Spesimen	1.	91.83	0.09	3.07	2.26	0.26	2.15	0.04	0.10	0.06	0.13
	2.	92.11	0.07	2.95	2.32	0.16	2.11	0.07	0.09	0	0.12
	3.	91.09	0.10	2.57	1.92	0.22	3.73	0.03	0.19	0.13	0.02
	4.	91.41	0.08	2.47	1.87	0.15	3.67	0.07	0.17	0	0.11
	5.	91.41	0.08	2.47	1.87	0.15	3.67	0.07	0.17	0	0.11
Rata2	91.57	0.08	2.71	2.05	0.19	3.07	0.06	0.14	0.04	0.10	

Unsur Fe yang tinggi pada produk industri kecil berpengaruh pada sifat ketahanan korosi produk. Tingginya unsur Fe disebabkan karena bahan daur ulang tercampur dengan unsur Fe karena

bahan yang digunakan merupakan material dari hasil proses pembubutan.

Sedangkan komposisi material cor dari bahan piston bekas, seperti pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Komposisi unsur paduan Aluminium daur ulang Piston

	Komposisi Unsur (%)										
	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Zn	Sn	Pb	Ti	Lain	
Spesimen	1.	84,19	10,7	1.07	2.26	0.26	2.15	0.04	0.10	0.07	0.13
	2.	83,89	11,2	0.95	2.32	0.16	2.11	0.07	0.09	0	0.12
	Rata2	84.04	10.95	10.01	2.29	0.21	2.13	0.06	0.10	0.04	0.13

Perbandingan yang nyata pada hasil pengecoran material dari bahan aluminium daur ulang biasa dengan limbah piston dapat dilihat pada komposisi material Al, Si dan Fe, unsur Al pada tabel 1, yaitu lebih tinggi jika dibandingkan dari tabel 2. Hal ini disebabkan karena aluminium yang digunakan pada tabel 1 tingkat kemurniannya lebih tinggi karena material yang digunakan dalam daur ulang ini berupa kaleng minuman dan perabot rumah tangga. Sedangkan pada tabel 2 menggunakan bahan daur ulang piston bekas. Unsur Si pada tabel 2 lebih tinggi karena berasal dari bahan daur ulang, demikian juga unsur Fe pada tabel 1 yang cukup

tinggi. Hal ini disebabkan karena proses daur ulang aluminium pada saat proses pengecoran tercampur dengan beram (besi scrap) hasil pembubutan. Tinggi kadar Fe ini dapat menyebabkan korosi pada paduan.

Hasil uji kekerasan permukaan bahan pada paduan hasil daur ulang non-piston dengan cetakan produk daur ulang yang menggunakan bahan dasar piston terdapat perbedaan yang cukup signifikan. Kekerasan permukaan paduan aluminium dari bahan bukan piston seperti pada tabel 3, sedangkan paduan dari bahan daur ulang piston pada tabel 4.

Tabel 3. Kekerasan permukaan paduan aluminium daur ulang

Spesimen	Material Uji					Rata ²
	1	2	3	4	5	
Kekerasan (HBN) (kg/mm ²)	46,74	60,27	60,27	48,42	60,27	59,194

Tabel 4. Kekerasan permukaan paduan aluminium daur ulang piston bekas

Spesimen	Material Uji					Rata ²
	1	2	3	4	5	
Kekerasan (HBN) (kg/mm ²)	132,97	117,95	127,38	127,38	122,48	125,76

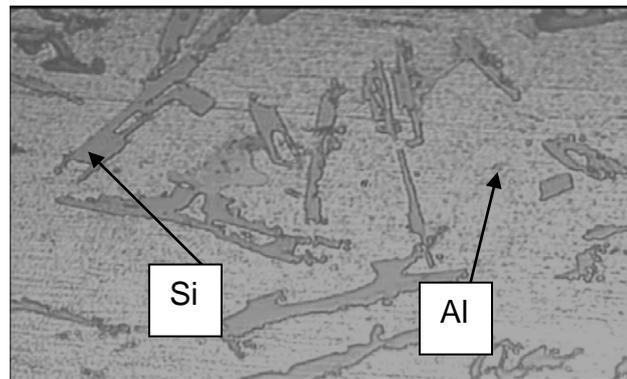
Tingginya kekerasan permukaan material daur ulang dari paduan aluminium pada tabel 3 disebabkan paduan ini memiliki komposisi yang merata jika dibandingkan dengan paduan pada tabel 4. Pengaruh komposisi material sangat besar selain itu faktor penyebaran unsur pada permukaan logam juga berpengaruh. Selain itu kekerasan permukaan juga dipengaruhi oleh teknik pengecoran dan pembentukan material (pencetakan). Sistem cetak yang menggunakan cetakan pasir dengan menggandakan gaya gravitasi sangat besar pengaruhnya terhadap sifat mekanik bahan.

Dari hasil pengujian kekerasan permukaan paduan aluminium kekerasan permukaan paduan disebabkan juga karena tidak terjadi pengaturan kembali atom akibat dari proses pendinginan sehingga struktur permukaan aluminium lebih beragam.

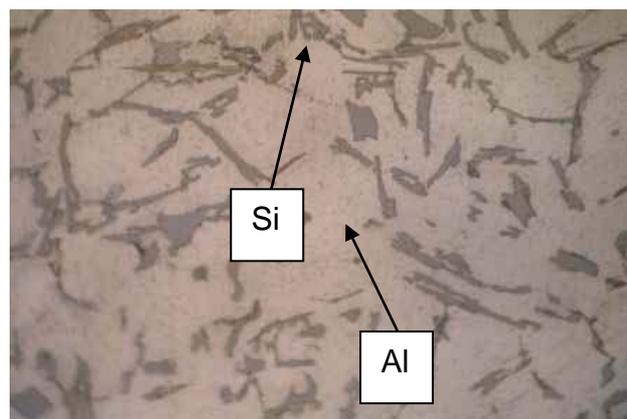
Hasil pengujian metalografi pada logam hasil pengecoran industri kecil yang menggunakan cetakan logam terlihat konsentrasi atom Al dan Si yang tersebar tidak merata terutama pada gambar 1 (paduan daur ulang aluminium non piston). Hal ini berpengaruh pada kekerasan permukaan logam, dan ini disebabkan karena proses pengecoran yang tidak

begitu sempurna karena tungku yang digunakan masih sangat tradisional (lihat lampiran). Pada proses pengecoran benda uji, terdapat beberapa kelompok atom yang penyebarannya tidak merata karena kemungkinan pada saat proses peleburan ada atom yang belum mengalami proses pencairan seperti atom Fe. Keadaan uni dapat dibuktikan dengan beragamnya tingkat kekerasan permukaan benda uji.

Pada gambar 1, unsur Si berkumpul sehingga terlihat seperti alur besar dan tidak merata. Sedangkan pada gambar 2 unsur Si lebih merata dan tersebar pada semua permukaan logam, dan pengaruh penyebaran ini menyebabkan kekerasan permukaan logam lebih tinggi. Pada gambar 1 paduan aluminium yang dipergunakan mempunyai kadar Al lebih besar (lihat tabel komposisi) sedang kadar unsur Si lebih kecil jika dibandingkan pada gambar 2.



Gambar 1. Struktur mikro paduan aluminium non piston



Gambar 2. Struktur mikro paduan aluminium daur ulang piston

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Paduan Aluminium daur ulang piston yang dihasilkan oleh industri kecil memiliki komposisi Al 84,76%, Si 1,04%, Fe 1,04%, Cu 2,173%, Mn 0,24%, Zn 3,53%, Sn 0,066%, Pb 0,18%, Ti 0,06 %, dan lain-lain 0,14%. Angka kekerasan Brinell setelah mendapat proses perlakuan panas 125,76. Komposisi unsur paduan aluminium akan menaikkan dan meningkatkan sifat mekanik bahan paduan hasil pengecoran industri kecil. Tingkat penyebaran unsur yang lebih merata juga menyebabkan keseragaman dan kekerasan permukaan akan lebih baik

Saran

Dalam melakukan penelitian ini sebagian masih menggunakan peralatan manual bukan peralatan digital yang dikontrol oleh komputer, baik

proses pembuatan spesimen maupun pada proses pengambilan data, sehingga tingkat keakuratan data kurang maksimal. Selain itu penelitian ini tidak meninjau faktor retak akibat proses pengecoran dan pengaruh beban oleh karena keterbatasan dana dan peralatan, dan penelitian mengenai hal ini akan dilanjutkan dengan dana lain.

DAFTAR PUSTAKA.

- _____. 1990. "ASME Standard", American Society for Testing and Materials.
- Hatch, John E. 1995. *Aluminum: Properties and Physical Metallurgy*, American Society for Metals.

- Jastrzebski, Zbigniew D. 1976. *The Nature and Properties of Engineering Materials*, New York: John Willey & Sons Inc.
- Smith, William F. 1993. *Structure and Propertise of Engineering Alloys*, McGraw-Hill Inc.
- Tata Surdia dan Saito, S. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik*, Jakarta: Penerbit PT. Pradnya Paramita.
- Tata Surdia. 1995. *Teknik Pengecoran Logam*, Edisi 8, Jakarta: Penerbit PT. Pradnya Paramita