

## Karakterisasi *Recycle Aluminium Scrap* Untuk Piston

Anita Susiana<sup>1</sup>, Muhamad Leon Habibi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

Jalan Babarsari Caturtunggal, Depok, Sleman, D.I.Yogyakarta 55281

<sup>2</sup>Politeknik Kelautan dan Perikanan Kupang

Jalan Kampung Baru (Pelabuhan Ferry Bolok) Kupang Barat, Nusa Tenggara Timur 55281

<sup>1</sup>email: [anita@itny.ac.id](mailto:anita@itny.ac.id)

<sup>2</sup>email: [muhamad\\_leon@ymail.com](mailto:muhamad_leon@ymail.com)

### ABSTRAK

Kemampuan aluminium yang dapat di *recycle* (daur ulang) menjadikan aluminium sebagai salah satu material yang dikembangkan untuk menggantikan penggunaan aluminium primer. Keterbatasan ketersediaan aluminium di dunia karena penggunaannya yang terus meningkat menjadikan *recycle* aluminium scrap sebagai salah satu pilihan untuk mengurangi produksi aluminium primer (bauksit). Penggunaan *recycle* aluminium scrap untuk komponen mesin menjadi alternatif pilihan untuk keberlangsungan (*sustainable*) dunia industri kedepannya, salah satunya adalah piston. Proses *recycle* aluminium scrap dilakukan dengan cara melebur aluminium scrap ke dalam tungku hingga temperatur 570 °C. Proses pengecoran yang dilakukan menggunakan dapur krusibel. Aluminium scrap yang telah di lelehkan di dalam tungku kemudian dituang ke dalam cetakan ingot. Karakterisasi material hasil cetakan meliputi uji komposisi kimia, uji mikrostruktur (mikroskop optik) dan pengujian mekanis (uji tarik dan uji kekerasan). Material *recycle* aluminium scrap tergolong dalam kategori *hypereutectic* karena memiliki komposisi Si sebesar 20,21 %. Unsur Si yang tinggi pada spesimen *recycle* aluminium membuat material coran Al menjadi getas. Dendrit yang terbentuk pada material *recycle* aluminium scrap lebih besar (*coarse*) jika dibandingkan dengan piston asli yang berakibat pada kekuatan tarik dan kekerasan material menjadi turun. Komposisi kandungan silikon dan unsur yang lain merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan selain meningkatkan laju pendinginan agar ukuran butir struktur mikro menjadi lebih halus. Memodifikasi proses perlakuan panas dapat juga dilakukan untuk mendapatkan struktur mikro dan sifat mekanik yang diinginkan.

**Kata kunci:** Aluminium, daur ulang, piston, scrap, silikon

### ABSTRACT

*The ability of aluminum to be recycled (recycled) makes aluminum one of the materials developed to replace the use of primary aluminum. The limited availability of aluminum in the world due to its increasing use makes recycled aluminum scrap an option to reduce primary aluminum (bauxite) production. The use of recycled aluminum scrap for engine components is a choice for the future sustainability of the industrial world, one of which is the piston. The process of recycling aluminum scrap is carried out by melting aluminum scrap into a furnace up to a temperature of 570 °C. The casting process is carried out using a crucible kitchen. The aluminum scrap that has been melted in the furnace is then poured into the ingot mold. The characterization of the printed material includes chemical composition tests, microstructure tests (optical microscopy), and mechanical testing (tensile and hardness tests). Recycled aluminum scrap material is classified in the hyper eutectic category because it has a Si composition of 20.21%. The high Si element in recycled aluminum specimens makes Al castings brittle. The dendrites formed in the recycled aluminum scrap material are larger (coarse) when compared to the original piston which results in lower tensile strength and hardness of the material. The composition of the content of silicon and other elements is an effort that can be made to increase the strength and ductility in addition to increasing the cooling rate so that the grain size of the microstructure becomes finer. Modifying the heat treatment process can also be done to obtain the desired microstructure and mechanical properties.*

**Keywords:** Condenser, Steam Power Plant, Plugging Tube and Tube Leakage.

## PENDAHULUAN

Aluminium merupakan salah satu logam yang paling banyak terdapat dikerak bumi dan merupakan unsur ketiga terbanyak setelah oksigen dan silikon. Penggunaan aluminium dari tahun ke tahun terus meningkat, aplikasinya antara lain untuk komponen struktur, kendaraan dan transportasi, kemasan untuk produk makanan bahkan industri dirgantara. Kemampuan aluminium yang dapat di *recycle* (daur ulang) menjadikan aluminium sebagai salah satu material yang dikembangkan untuk menggantikan penggunaan aluminium primer..

Pemanfaatan dan pengolahan limbah aluminium, dari segi ekonomis, biayanya jauh lebih murah dan dapat mengurangi konsumsi energi karena hanya membutuhkan energi sebesar 5 % jika dibandingkan dengan produksi aluminium primer bauksit [1]. *Recycle* aluminium juga lebih ramah lingkungan karena dapat mengurangi polusi udara akibat gas buang yang dihasilkan pada saat proses pengolahan aluminium dari bauksit terutama CO<sub>2</sub> dan gas rumah kaca. *Recycle* aluminium merupakan salah satu konsep untuk penanganan limbah, menjadi salah satu kemungkinan untuk membatasi jumlah limbah logam dan penggunaan sumber daya alam secara efisien [2].

Aluminium yang digunakan secara luas menyebabkan jumlah limbah logam akibat kegiatan industri juga meningkat. Biaya dan energi yang dibutuhkan untuk memproduksi aluminium primer sangat mahal, selain itu juga menyebabkan pencemaran udara. Salah satu upaya yang dilakukan untuk menanggulangi hal tersebut adalah dengan cara *recycle* aluminium *scrap*. Keterbatasan ketersediaan aluminium di dunia karena penggunaannya yang terus meningkat menjadikan *recycle* aluminium *scrap* sebagai salah satu pilihan untuk mengurangi produksi aluminium primer (bauksit). Penggunaan *recycle* aluminium *scrap* untuk komponen mesin menjadi alternatif pilihan untuk keberlangsungan (*sustainable*) dunia industri kedepannya, salah satunya adalah piston.

Pengecoran logam adalah salah satu proses manufaktur yang prospektif untuk produk otomatis dan komponen mesin. Keuntungan dari pengecoran logam adalah mampu menghasilkan barang yang mirip dengan produk (*net shape*), menggunakan *raw material* (*ingot*) dan menghasilkan *ingot* dari logam *scrap* sehingga polusi bisa dikendalikan [3]. Produk *casting* (pengecoran) yang banyak diproduksi salah satunya adalah piston. Piston dari aluminium paduan memiliki sifat mekanik yang baik pada suhu tinggi, kira-kira diatas 400°C [4].

Pertumbuhan industri yang semakin pesat membuat jumlah limbah logam juga semakin meningkat. *Recycle* aluminium *scrap* merupakan salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi jumlah limbah logam. Keterbatasan sumber daya yang tersedia di bumi, salah satunya aluminium, menjadikan aluminium *scrap* sebagai alternatif material yang perlu dikembangkan untuk menjaga keberlangsungan industri karena jumlahnya yang mulai berkurang. Pada penelitian ini, proses *recycle* aluminium *scrap* menggunakan metode *casting*. Hasil coran dianalisis untuk mengetahui seberapa besar cacat dan porositas yang terjadi. Spesimen uji dari hasil *casting* aluminium *scrap* kemudian dikarakterisasi untuk mengetahui sifat mekanik dan struktur mikronya.

Widyantoro dkk, 2019 [5], melakukan penelitian tentang pengaruh Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> dan NaCl berbasis flux sodium yang ditambahkan ke dalam fluiditas dan mikro struktur pada produk aluminium untuk menghilangkan inklusi oksida pada proses pengecoran aluminium *scrap*. Paduan yang digunakan adalah Al-Si yang dicampur dengan logam *skrap* menggunakan metode pengecoran gravitasi dengan temperatur peleburan 700°C, 740°C dan 780°C. Karakterisasi dilakukan dengan menggunakan DSC, EDAX, XRD, dan pengujian fluiditas material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa angka inklusi oksida berkurang dengan penambahan 0,2% wt fluk. Penambahan 0,4% wt fluks menghilangkan inklusi oksida sepenuhnya. Tegangan tarik dan fluiditas tertinggi diperoleh setelah penambahan 0,4% wt fluk pada temperatur 740°C.

Begum, 2013 [6] meneliti daur ulang aluminium dari kaleng aluminium. Pada penelitian ini, komposisi fluks garam dengan kemurnian tinggi dan komposisi aditif yang digunakan dalam peleburan aluminium *skrap* sama seperti yang digunakan untuk kaleng minuman. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa penggunaan dari temperatur 450°C hingga 950 °C dan jumlah fluks sedikitnya 5% wt menghasilkan *recovery* aluminium yang baik setelah kaleng di daur ulang. Penggunaan klorid dan florid secara berlebihan menghasilkan informasi dari kawah dan dendrit pada logam yang *direcovery*, yang menunjukkan bahwa magnesium dan aluminium oksida dalam bentuk sampah yang terakumulasi didalam kawah (lubang). Klorida dan florid cair yang dihasilkan merusak struktur dan merusak jaringan oksida, yang kemudian membebaskan aluminium murni.

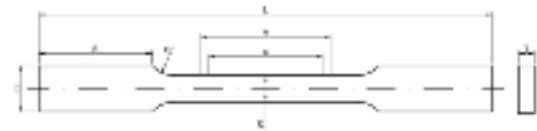
Penelitian yang dilakukan oleh Hamonangan dkk, 2018 [7] mempelajari tentang daur ulang paduan aluminium *scrap* 7075.

Metode yang digunakan adalah *casting* (pegecoran). Hasil menunjukkan bahwa aluminium *scrap* 7075 dapat diproduksi dengan cara *casting* dimana tidak dibutuhkan fluks atau elemen tambahan. Dari segi komposisi kimia setelah *casting* juga tidak terjadi perubahan yang signifikan. Untuk mengurangi segregasi setelah *casting*, pendinginan sebaiknya dilakukan pendinginan lambat di udara terbuka. Angka kekerasan setelah proses *casting* antara 150 – 160 HV, mendekati harga aluminium paduan 7075. Memungkinkan untuk memproduksi dan mendaur ulang paduan aluminium 7075 *scrap*.

### METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan material aluminium *scrap*. Penelitian ini diawali dengan pembuatan bahan baku dari aluminium *scrap*. Proses *recycle* aluminium *scrap* dilakukan dengan cara melebur aluminium *scrap* ke dalam tungku hingga temperatur 570 °C. Aluminium *scrap* yang telah di lelehkan di dalam tungku kemudian dituang ke dalam cetakan *ingot*. Karakterisasi material hasil cetakan meliputi uji komposisi kimia, uji mikrostruktur (mikroskop optik) dan pengujian mekanis (uji tarik dan uji kekerasan).

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui kandungan unsur yang terdapat pada material uji. Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan alat spektrometer. Pengujian struktur mikro dilakukan untuk mengamati struktur mikro material. Alat uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah mikroskop optik. Pengamatan dilakukan pada permukaan spesimen. Spesimen terlebih dahulu dipoles sebelum diuji hingga benar benar halus menggunakan autosol kemudian dietsa menggunakan *Keller's reagent* (1 ml HF + 1,5 ml HCl + 2,5 ml HNO<sub>3</sub> dan 95 ml H<sub>2</sub>O) selama 10 – 20 detik agar batas butir dapat terlihat. Uji tarik yang dilakukan mengacu pada ASTM E8M (Gambar 1) dengan menggunakan mesin uji tarik *servopulser*. Uji tarik dilakukan untuk mengetahui sifat mekanis material dimana akan diperoleh grafik *yield stress* (tegangan luluh) dan *ultimate tensile stress* (tegangan tarik maksimum). Dari hasil uji tarik dapat diketahui berapa besar tegangan dan regangan yang terjadi pada material. Untuk pengujian kekerasan dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan permukaan (Gambar 2). Alat uji kekerasan yang digunakan adalah *Beuhler microhardness tester* dengan metode *Vickers*



Gambar 1. Spesimen uji tarik [8]

Untuk tegangan dan regangan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1)$$

$$\varepsilon = \frac{L-L_0}{L_0} \quad (2)$$

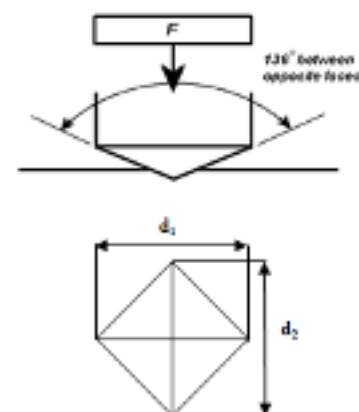
dimana :  $\sigma$  : tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup>),  $\varepsilon$  : regangan (%), F : beban (N),  $A_0$  : luas penampang (mm<sup>2</sup>), L : panjang setelah ditarik (mm),  $L_0$  : panjang mula-mula (mm).

Untuk mengetahui harga kekerasan material yang diuji, digunakan persamaan berikut ini :

$$VHN = 1,854 \frac{P}{D^2} \quad (3)$$

$$D = \frac{d_1+d_2}{2} \quad (4)$$

dimana VHN : angka kekerasan *Vickers* (kg/mm<sup>2</sup>), P : beban (kg), D : diagonal injakan rata-rata (mm).



Gambar 2. Hasil Penekanan Uji *Vickers*

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Komposisi Kimia *Recycle Aluminium Scrap*

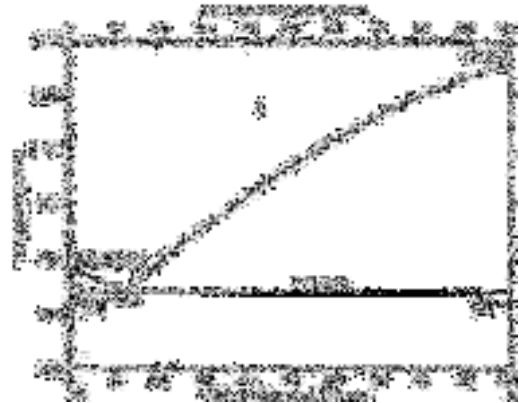
Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui unsur yang terkandung pada material. Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah *recycle aluminium scrap* dan hasil uji komposisi kimia spesimen dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Komposisi Kimia

Unsur	Piston	Recycle Al (%)
Si	11,83	20,21
Fe	0,306	0,532
Cu	0,898	0,743
Mn	0,109	0,103
Mg	0,899	0,782
Cr	0,084	0,005
Ni	0,689	0,630
Zn	0,188	0,286
Ti	0,038	0,019
V	0,011	0,012
Zr	0,004	0,041
Co	0,003	0,008
Al	84,93	76,66

Tabel 1 memperlihatkan jika *ingot* hasil pengecoran *recycle aluminium* merupakan paduan Al-Si dengan kadar silikon 20,21 %. Paduan aluminium silikon yang di gunakan pada piston ada dalam tiga kategori utama yaitu *hypoeutectic*, *eutectic* dan *hypereutectic* [9]. Paduan dengan kadar silikon < 12% disebut sebagai hipoeutektik, mendekati 12% sebagai eutektik, dan > 12% disebut hipereutektik. Kandungan silikon yang dapat ditambahkan ke dalam paduan aluminium cor berkisar antara 5 sampai 22% [10]. Komposisi kimia silikon sebesar 20,21% termasuk dalam komposisi *hypereutectic* dalam diagram fasa Al-Si seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Jika dibandingkan dengan kadar silikon pada paduan Al-Si piston, terlihat jika paduan Al-Si piston termasuk dalam kategori komposisi eutektik. Paduan dengan silikon sebagai paduan tambahan utama pada pengecoran paduan aluminium sangat penting karena memberikan fluiditas yang tinggi, selain memberikan keuntungan lain pada pengecoran seperti ketahanan korosi yang tinggi, kemampuan las yang baik, dan juga fakta bahwa fasa silikon dapat mengurangi penyusutan selama

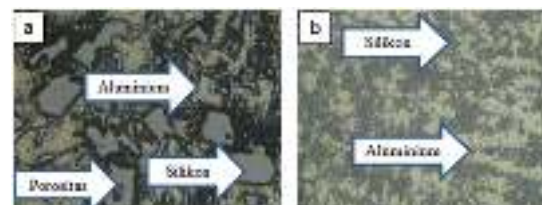
proses solidifikasi dan koefisien muai panas pada produk cor [11].



Gambar 3. Diagram Fasa Al-Si

### Struktur Mikro Material *Recycle Aluminium Scrap*

Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik. Pada spesimen uji dilakukan persiapan spesimen yang mengikuti prosedur metalografi standar yang meliputi proses *grinding*, *polishing* dan etsa menggunakan *Keller reagent* (1 ml HF + 1,5 ml HCl + 2,5 ml HNO<sub>3</sub> dan 95 ml H<sub>2</sub>O). Gambar 4 (a) memperlihatkan struktur Si bentuknya besar dan tersebar tidak merata, sementara Gambar 4 (b) memperlihatkan struktur Si tersebar merata. Material dengan kandungan Si tinggi, atom-atom yang menyusun unit sel akan tertata secara merata seperti yang terlihat pada Gambar 4 (b).



Gambar 4. Struktur mikro paduan Al – Si

(a) *Recycle Aluminium scrap*, (b) Piston

Gambar 4 memperlihatkan jika struktur mikro terdiri dari warna abu-abu (silikon) dan warna putih (aluminium) [12]. Laju pendinginan memiliki pengaruh pada ukuran butir, morfologi dan distribusi semua konstituen struktur mikro. Proses solidifikasi yang lambat pada paduan Al-Si akan menghasilkan struktur mikro yang sangat kasar/besar. Gambar 4 (a) memperlihatkan jika ukuran butir silikon dan aluminium lebih besar dimana keuletannya rendah yang mengakibatkan material getas, selain itu juga terdapat porositas. Jika dibandingkan dengan Gambar 4 (b), ukuran butirnya lebih halus, sehingga memiliki keuletan dan kekuatan yang lebih baik [11].

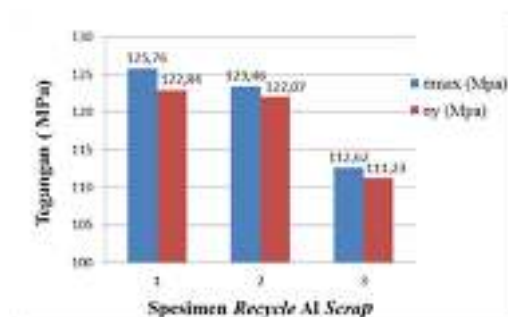
Paduan Al-Si hipereutektik banyak digunakan dibidang otomotif khususnya piston karena memiliki ketahanan aus yang baik karena mengandung partikel silikon primer yang besar (*coarse*) dan bersudut (*angular*). Partikel silikon inilah yang membuat materialnya tahan aus. Namun, paduan dengan struktur mikro seperti ini juga memiliki kecenderungan terbentuknya retakan pada ujung sudut yang runcing [13]. Pada Gambar 4 (a) juga terlihat jika terjadi porositas pada hasil coran dimana terbentuk lubang berwarna hitam.

#### Kekuatan Tarik Material *Recycle Aluminium Scrap*

Uji tarik yang dilakukan menggunakan mesin *servopulser*. Ada tiga spesimen yang dilakukan uji tarik. Hasil uji tarik spesimen *recycle Al scrap* dan piston dapat dilihat pada Tabel 2 dan Gambar 5

Tabel 2 Hasil Spesimen

Spesimen Al	$\sigma_u$ (MPa)	$\sigma_y$ (MPa)	Elongation (%)
Recycle Al Scrap 1	125,76	122,48	0,04
Recycle Al Scrap 2	123,46	122,07	0,04
Recycle Al Scrap 3	112,62	111,73	0,08
Piston Asli	141,41	129,3	0,22



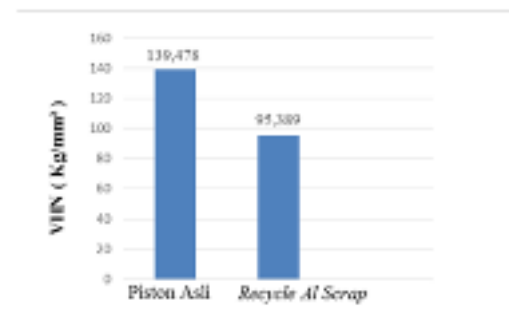
Gambar 5. Histogram hasil uji tarik spesimen *recycle Al scrap*

Hasil yang diperoleh dari pengukuran spesimen uji tarik untuk nilai tegangan tarik maksimum ( $\sigma_u$ ) pada spesimen *recycle aluminium* adalah sebesar 125,76 Mpa, 123,46 Mpa dan 112,62 Mpa. Sedangkan untuk tegangan luluhnya ( $\sigma_y$ ) sebesar 122,48 MPa, 122,07 Mpa dan 111,23 Mpa. Unsur Si yang tinggi pada spesimen *recycle aluminium* yaitu sebesar 20,21 % membuat material coran Al menjadi getas, hal ini terlihat pada Tabel 3.2 dimana regangan yang terjadi sebesar 0,04 % untuk spesimen 1, 0,04 % untuk spesimen 2 dan 0,08% untuk spesimen 3. Bisa diartikan, material coran yang di hasilkan keuletannya sangat rendah.

Nilai kekuatan tarik yang diperoleh pada material piston jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan material coran *recycle Al scrap* dimana nilai tegangan tarik yang diperoleh sebesar 141,42 Mpa dengan tegangan luluhnya sebesar 129,3 Mpa. Perbedaan ini disebabkan oleh proses pengecoran yang kurang sempurna karena terjadi porositas yang cukup tinggi pada spesimen coran. Selain itu, lamanya proses solidifikasi saat proses pendinginan juga mempengaruhi sifat mekanik material. Ukuran butir silikon dan aluminium yang besar mengakibatkan keuletan material coran rendah sehingga material menjadi getas. Jika dibandingkan dengan piston asli, ukuran butirnya jauh lebih halus dan merata, sehingga memiliki keuletan dan kekuatan yang lebih baik [11]. Komposisi kandungan silikon dan unsur yang lain merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan selain meningkatkan laju pendinginan agar ukuran butir struktur mikro menjadi lebih halus [14]. Memodifikasi proses perlakuan panas dapat juga dilakukan untuk mendapatkan struktur mikro dan sifat mekanik yang diinginkan [9].

#### Kekerasan Material *Recycle Aluminium Scrap*

Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metode *Vickers* dengan beban 0,1 kg. Hasil pengujian kekerasan spesimen uji dapat dilihat pada Gambar 6



Gambar 6. Hasil hasil uji kekerasan spesimen *recycle Al scrap*

Hasil pengujian kekerasan spesimen pada piston asli sebesar 139,48 kg/mm<sup>2</sup>, sementara untuk spesimen *recycle Al scrap* diperoleh hasil sebesar 95,39 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan *recycle Al scrap* jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan piston asli. Hal ini disebabkan saat proses pengecoran, terjadi porositas pada material. Proses dan prosedur pengecoran juga mempengaruhi hasil coran. Jika diamati dari foto struktur mikro, terlihat unsur Si tidak tersebar merata dan teratur seperti pada piston.

Gambar 4 (a) memperlihatkan dendrit pada aluminium untuk material *recycle Al scrap* lebih besar ukurannya di bandingkan dengan piston. Pembentukan dendrit disebabkan oleh efek pemadatan selama pengecoran dimana ukuran dendrit akan berkurang ketika pengecoran membeku lebih cepat. Menurut Mizuno (1996) [15], kekerasan aluminium paduan akan menurun jika ukuran dendrit bertambah (membesar). Ini berarti, dendrit yang besar menghasilkan kekerasan yang rendah [9].

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian komposisi kimia yang dilakukan diperoleh data bahwa *ingot* hasil pengecoran *recycle* aluminium merupakan paduan Al-Si dengan kadar silikon 20,21 %. Paduan aluminium silikon yang di gunakan pada piston ada dalam tiga kategori utama yaitu *hypoeutectic*, *eutectic* dan *hypereutectic* (Chua dkk, 2006) [9]. Paduan dengan kadar silikon < 12% disebut sebagai hipoeutektik, mendekati 12% sebagai eutektik, dan > 12% disebut hipereutektik.
2. Laju pendinginan memiliki pengaruh pada ukuran butir, morfologi dan distribusi semua konstituen struktur mikro. Proses solidifikasi yang lambat pada paduan Al-Si akan menghasilkan struktur mikro yang sangat kasar/besar. Ukuran butir silikon dan aluminium lebih besar dimana keuletannya rendah yang mengakibatkan material getas, selain itu juga terdapat porositas. Jika dibandingkan dengan piston, ukuran butirnya lebih halus, sehingga memiliki keuletan dan kekuatan yang lebih baik.
3. Unsur Si yang tinggi pada spesimen *recycle* aluminium yaitu sebesar 20,21 % membuat material coran Al menjadi getas. Nilai kekuatan tarik yang diperoleh pada material piston jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan material coran *recycle Al scrap* dimana nilai tegangan tarik yang diperoleh sebesar 141,42 Mpa dengan tegangan luluhnya sebesar 129,3 Mpa. Perbedaan ini disebabkan oleh proses pengecoran yang kurang sempurna karena terjadi porositas yang cukup tinggi pada spesimen coran. Komposisi kandungan silikon dan unsur yang lain merupakan upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dan keuletan selain meningkatkan laju pendinginan agar ukuran butir struktur mikro menjadi lebih halus. Memodifikasi proses perlakuan panas dapat juga di lakukan

untuk mendapatkan struktur mikro dan sifat mekanik yang diinginkan.

4. Hasil pengujian kekerasan spesimen pada piston asli sebesar 139,48 kg/mm<sup>2</sup>, sementara untuk spesimen *recycle Al scrap* diperoleh hasil sebesar 95,39 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan *recycle Al scrap* jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan piston asli. Hal ini disebabkan saat proses pengecoran, terjadi porositas pada material. Dendrit pada aluminium untuk material *recycle Al scrap* lebih besar ukurannya di bandingkan dengan piston. Pembentukan dendrit disebabkan oleh efek pemadatan selama pengecoran dimana ukuran dendrit akan berkurang ketika pengecoran membeku lebih cepat. Kekerasan aluminium paduan akan menurun jika ukuran dendrit bertambah (membesar). Ini berarti, dendrit yang besar menghasilkan kekerasan yang rendah.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wong, D.S., and Lavoie, Pascal., 2019, *Aluminium : Recycling and Environmental Footprint*, JOM, Vol.71, No.9
- [2] Bulei, C., Todor, M.P., Heput, T., and Kiss, I., 2018, *Recovering Aluminium for Recycling in Reuseable Backyard Foundry that Melts Aluminium Cans*, Material Science and Engineering 416 (2018) 012099
- [3] Suprpto, W., 2019, *Effect Recycled Aluminium Structures of Metallurgical and Melt Efficiency*, Material Science and Engineering 494 (2019) 012085
- [4] S, Masinejevic., Z. Achimovic, Pavlovic., K. Raic., R. Radisa., and V. Kvrjic., 2013, *Optimization of Cast Pistons Made of Al-Si Piston Alloy*, International Journal of Cast Metals Research, 26(2013) 5, 255-261.
- [5] Widyantoro., Dhaneswara.D., Fatriansyah, J.F., Firmansyah, M.R., and Prastyo, Y., 2019, *Removal of Oxide Inclusions in Aluminium Scrap Casting Process with Sodium Based Fluxes*, MATEC Web of Conference 269, 070002 (2019).
- [6] Begum, Shakila., 2013, *Recycling of Aluminium from Aluminium Cans*, Journal-Chemical Society of Pakistan, Vol.35, No.6.
- [7] Hamonangan, Elli., Pamuji, Edi., Azmi, Yunus., dan Junaidi, A.S, 2018, *Analisis Hasil Pemeriksaan Torsi Pada Pengecoran Aluminium Dengan Media Pendingin Oli SAE 20W-50*, Jurnal Teknologi 4(3):1-10.
- [8] ASTM E8M, 2009, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*.

- [9] Chua, K.A., Sharifudin, A., Yazif., Firdaus, M., Nazri, M., Saadiah, H., Ayu, D., Shamsul, J.B., Fitri, M.W.M., Rizam, S., 2006, *Microstructure and Hardness Evaluation of Al-Si Piston Alloy*, National Metallurgical Conference, Kangar, Perlis, Malaysia.
- [10] Mandal, N. R., 2005, *Aluminum Welding*, Narosa Publishing House: India.
- [11] Polmear, I. J., 1995, *Light Alloys: Metallurgy of The Light Metals*, Butterworth-Heinemann: Oxford
- [12] Cornet, R., Badhesia, H.K.D.H., *Aluminium-Silicon Casting Alloy*, <https://www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/abstracts/M7-8.html>.  
F.V.V, George., 2009, *The Al-Si Phase Diagram*, Microscopy and Microanalysis, Buehler.
- [13] *ASM Internasional, 2009, Casting Design and Performance, Material Park, OH, USA*
- [14] Zamani, M., 2015, *Al-Si Cast Alloy-Microstructure and Mechanical Properties at Ambient and Elevated Temperature*, School of Engineering, Jonkoping University, Sweden.
- [15] Mizuno et al, 1996, *Effect of Casting Modulus on Mechanical Strength and Dendrite Arm Spacing of AC4B Flat Aluminium Alloy Casting*, INIST-CNRS:55-60.