

# Pengaruh Temperatur *Artificial Aging* Paduan Al *Recycle Scrap* Piston X Terhadap Kekerasan dan Kekuatan Tarik

Matius Edo Revianto<sup>\*1</sup>, Anita Susiana<sup>1</sup>, Mustakim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta  
Jalan Babarsari Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281

email: \*[matius.edo.r@gmail.com](mailto:matius.edo.r@gmail.com), [anita@itny.ac.id](mailto:anita@itny.ac.id), [mustakim@itny.ac.id](mailto:mustakim@itny.ac.id)

## ABSTRAK

Penggunaan aluminium di dunia industri otomotif semakin meningkat seiring dengan majunya teknologi, seperti pada komponen piston, blok mesin, valve, dan cylinder head. Hal ini mengakibatkan keterbatasan aluminium primer di alam. Upaya mengatasi masalah keterbatasan aluminium tersebut, salah satu usaha yang dilakukan adalah daur ulang. Agar scrap piston x bisa digunakan dengan aman, upaya yang dilakukan adalah treatment untuk memperbaiki sifat mekanik aluminium piston hasil pengecoran ulang. Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh temperatur proses artificial aging terhadap kekerasan dan kekuatan tarik aluminium recycle scrap piston x dan meningkatkan sifat mekanik. Penelitian ini menggunakan bahan aluminium scrap piston x, dengan proses perlakuan yang dilakukan adalah solution treatment pada temperatur 475°C dengan waktu tahan 60 menit, dilanjutkan proses quenching di media air bertemperatur 100°C selama 15 detik, kemudian dilanjutkan dengan proses artificial aging dengan variasi temperatur 190°C, 200°C, dan 210°C selama 60 menit. Setelah itu, di dinginkan hingga temperatur ruang. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia, uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji tarik. Hasil penelitian komposisi kimia piston x mengandung fasa eutectic dimana kandungan Al sebesar 84,93 wt% dan Si 11, 83 wt%. Ingot coran aluminium recycle scrap mengandung fasa hypoeutectic dimana kandungan Al sebesar 91,07 wt% dan Si sebesar 5,43 wt%. Dari komposisi kedua spesimen dikategorikan sebagai aluminium paduan seri 4xx.x. Dari hasil pengamatan struktur mikro terlihat jika semakin tinggi temperatur aging ukuran butir menjadi semakin halus. Nilai hasil kekerasan 190°C sebesar 101,364 kg/mm<sup>2</sup>, 200°C sebesar 128,249 kg/mm<sup>2</sup>, dan 210°C sebesar 127,574 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekuatan tarik 190°C sebesar 134,53 MPa, 200°C sebesar 151,51 MPa, dan 210°C sebesar 139,78 MPa.

**Kata Kunci:** Aluminium, silikon, recycle, scrap, piston, aging.

## ABSTRACT

The use of aluminum in the automotive industry is increasing along with technological advances, such as piston components, engine blocks, valves, and cylinder heads. This results in the limitations of primary aluminum in nature. Efforts to overcome the problem of aluminum limitations, one of the efforts made is recycling. For scrap piston x to be used safely, efforts are being made to improve the mechanical properties of the aluminum piston as a result of re-casting. This research aims to determine the effect of artificial aging process temperature on the hardness and tensile strength of aluminum recycle scrap piston x and improve its mechanical properties. This research uses aluminum scrap piston x, with the treatment process carried out is solution treatment at a temperature of 475°C with a holding time of 60 minutes, followed by the quenching process in water with a temperature of 100°C for 15 seconds, then continued with the artificial aging process with temperature variations of 190°C, 200°C, and 210°C for 60 minutes. After that, cooled to room temperature. The tests carried out are the chemical composition test, microstructure test, hardness test, and tensile test. The results of

the research on the chemical composition of piston x contained a eutectic phase where the Al content was 84.93 wt% and Si 11.83 wt%. The recycled scrap aluminum casting ingot contains a hypoeutectic phase where the Al content is 91.07 wt% and Si is 5.43 wt%. From the composition of the two specimens categorized as aluminum alloy 4xx.x series. From the observation of the microstructure, it can be seen that the higher the aging temperature, the finer the grain size. The hardness value of 190°C is 101.364 kg/mm<sup>2</sup>, 200°C is 128.249 kg/mm<sup>2</sup>, and 210°C is 127.574 kg/mm<sup>2</sup>. The tensile strength value of 190°C is 134.53 MPa, 200°C is 151.51 MPa, and 210°C is 139.78 MPa.

**Keywords:** Aluminum, silicon, recycle, scrap, piston, aging.

## 1. PENDAHULUAN

Aluminium merupakan logam yang paling banyak digunakan setelah baja. Karakteristik utamanya adalah ringan dengan berat jenis 2,7 g/cm<sup>3</sup>, memiliki konduktivitas panas dan listrik yang tinggi, memiliki ketahanan korosi yang baik, serta memiliki keuletan yang cukup tinggi.

Pemakaian aluminium khusus pada dunia industri otomotif terus meningkat sejak tahun 1980, seiring meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia. Banyak komponen otomotif yang terbuat dari paduan aluminium, diantaranya adalah piston, valve, blok mesin, cylinder head, dan lain sebagainya. Hal ini mengakibatkan keterbatasan aluminium primer di alam. Upaya mengatasi masalah keterbatasan aluminium tersebut, salah satu usaha yang dimungkinkan adalah dengan melakukan daur ulang (Nugroho, dkk, 2016).

Aluminium memiliki beberapa kelebihan dari pada logam lainnya. Dalam penggunaan paduan aluminium untuk komponen otomotif dituntut memiliki kekuatan yang baik. Agar aluminium mempunyai kekuatan yang baik biasanya logam aluminium dipadukan dengan unsur-unsur seperti: Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni dan sebagainya. Agar scrap piston x bisa digunakan dengan baik dan aman, salah satu upaya yang dilakukan adalah treatment untuk memperbaiki mekanik sifat aluminium piston hasil pengecoran ulang (Budinski, 2001).

Aging adalah proses penuaan aluminium pada beberapa waktu, penuaan aluminium ada beberapa macam, yaitu penuaan alamiah (*natural aging*) dan penuaan buatan (*artificial aging*) Penuaan alami (*natural aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan dingin. *Natural aging* berlangsung pada temperatur ruang antara 15°C - 25°C dan dengan waktu penahanan 5 sampai 8 hari. Penuaan buatan (*artificial aging*) adalah penuaan untuk paduan aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan panas. *Artificial aging* berlangsung pada temperatur antara 100°C - 200°C dan dengan lamanya waktu penahanan antara 1 sampai 24 jam (Schonmetz, 1990). Pada beberapa material proses *aging* berfungsi untuk mencapai kekuatan dan kekerasan.

Saiful Anwar, 2019, melakukan penelitian tentang pengaruh variasi temperatur *artificial aging* terhadap hasil pengecoran Al menggunakan cetakan pasir hitam dengan bentonit 7%”, pada penelitian ini menggunakan metode *artificial aging* (penuaan buatan). *Artificial aging* adalah penuaan untuk paduan Aluminium yang di *age hardening* dalam keadaan panas. Penelitian menggunakan variasi temperatur *artificial aging* 150°C, 175°C, dan 200°C dengan waktu tahan 1 jam dan membandingkannya dengan *raw material*. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kandungan komposisi kimia material yang akan diperlakukan *artificial aging*, mengetahui nilai kekerasan material sebelum dan sesudah dilakukan *artificial aging*. Hasil pengujian kekerasan *Rockwell* pada spesimen dengan *aging* 200°C mempunyai nilai kekerasan paling tinggi yaitu rata-rata sebesar 80,36 HRB lebih keras dibandingkan spesimen dengan *aging* 150°C dan *aging* 175°C karena pengendapan Cu lebih banyak dibandingkan lainnya.

Helmy Purwanto, dkk, 2010, meneliti pengaruh pengecoran ulang Al cor dengan cetakan pasir, dimana penelitian ini menggunakan material Al yang beredar dipasaran. Material dilebur diatas tungku pengecoran dan dituang pada temperatur 750°C dengan menggunakan cetakan pasir. Hasil pengecoran kemudian dibuat spesimen pengujian tarik menurut standar JIS Z 2201 No. 14 untuk pengujian tarik dan spesimen pengujian kekerasan. Pengecoran ulang dilakukan

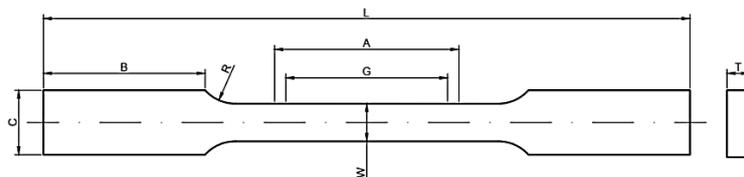
tiga kali dengan kondisi penuangan yang sama dan masing - masing pengecoran dibuat tiga spesimen. Dari hasil pengujian bahwa untuk pengecoran ulang I terhadap pengecoran ulang II kekuatan tarik turun 3,9% dan kekerasannya turun 5,1% dan setelah dilakukan pengecoran ulang III kekuatan tarik turun sekitar 8,9 % dan kekerasannya turun sekitar 27 %. ulang dengan menggunakan cetakan logam dan cetakan pasir.

Masyrukan pada tahun 2010. melakukan penelitian tentang analisis sifat fisis dan mekanis Al paduan daur ulang dengan cetakan logam dan cetakan pasir. Material yang digunakan Al bekas yang didaur ulang melalui proses pengecoran yang dilebur dalam dapur krusibel, dicetak dengan cetakan logam dan cetakan pasir. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia, untuk pengujian kekerasan menggunakan uji *Vickers*, dan struktur mikro. Hasil penelitian menunjukkan hasil cetakan logam mempunyai kekerasan lebih tinggi dibanding dengan cetakan pasir, dengan menggunakan cetakan logam, untuk spesimen satu sebesar 98,2 kg/mm<sup>2</sup> dan spesimen dua sebesar 104,3 kg/mm<sup>2</sup>, sedangkan dengan menggunakan cetakan pasir, untuk spesimen satu sebesar 81,2 kg/mm<sup>2</sup> dan spesimen dua sebesar 83 kg/mm<sup>2</sup>. Pada Aluminium paduan yang dicetak menggunakan cetakan logam dengan prosentase silikon (Si) 5,26 % dan tembaga (Cu) 4,25%, terlihat bahwa distribusi fasa Al-Si memiliki struktur butiran dengan ukuran lebih kecil memanjang dengan jarak antar butiran yang rapat. Sedangkan pada Aluminium paduan daur ulang yang dicetak menggunakan cetakan pasir, dengan unsur paduan silikon (Si) 4,83% dan tembaga (Cu) 7,44% memiliki distribusi dan bentuk struktur butiran fasa Al-Si yang cenderung menggumpal dengan ukuran butiran lebih besar dan jarak antar butirannya meregang.

**2. METODE PENELITIAN**

Penelitian ini menggunakan material aluminium *scrap* piston. Penelitian ini dimulai dengan pembuatan bahan baku dari aluminium *scrap* piston. Proses *recycle* aluminium *scrap* piston dilakukan dengan cara melebur aluminium *scrap* ke dalam tungku hingga temperatur 650°C. Aluminium *scrap* piston yang telah di lelehkan di dalam tungku kemudian dituang ke dalam cetakan pasir dan akan menjadi *ingot*. Karakterisasi material hasil cetakan meliputi uji komposisi kimia, uji mikrostruktur dan pengujian mekanis (uji tarik dan uji kekerasan).

Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung di dalam spesimen. Pengujian komposisi kimia dilakukan dengan menggunakan alat *spectometer*. Pengujian struktur mikro dilakukan untuk untuk mengamati struktur mikro material. Alat uji yang digunakan pada penelitian ini adalah mikroskop optik. Pengamatan dilakukan pada permukaan spesimen. Spesimen dilakukan proses dipoles sebelum diuji permukaan spesimen digunakan autosol supaya permukaan halus, kemudian di etsa menggunakan *keller reagent* (2 ml HF + 3 ml HCl + 5 ml HNO<sub>3</sub> dan 90 ml H<sub>2</sub>O) selama 10 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 tegangan tarik maksimum. 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

Untuk nilai kekuatan tarik dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

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

Dimana

- $\sigma$  : tegangan tarik (N/mm<sup>2</sup>),  
 $F$  : beban (N),  
 $A$  : luas penampang (mm<sup>2</sup>).

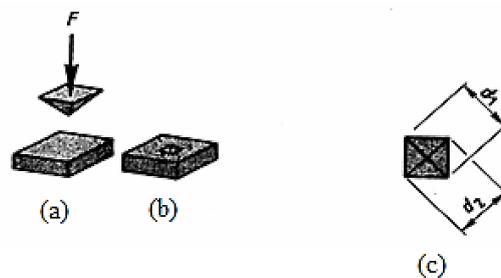
Untuk mengetahui nilai kekerasan material yang diuji, digunakan persamaan berikut ini :

$$\text{VHN} = \frac{1.854 F}{d^2} \quad (2)$$

$$d = \frac{(d_1 + d_2)}{2} \quad (3)$$

Dimana

- VHN : angka nilai kekerasan *Vickers* (kg/mm<sup>2</sup>),  
 $F$  : beban (kg),  
 $d$  : diagonal injakan rata-rata (mm).



**Gambar 2.** Hasil Penekanan Uji *Vickers* (a) Benda sebelum mendapatkan gaya tekan dari indenter, (b) Setelah mendapatkan gaya tekan dari indenter, (c) Hasil dari injakan indenter

### 3. HASIL DAN PEMBAHSAN

#### a. Komposisi kimia spesimen aluminium *recycle scrap piston merk x*

Pengujian komposisi kimia dilakukan untuk mengetahui berbagai unsur yang terkandung dalam spesimen. Pada penelitian ini, material yang digunakan adalah spesimen aluminium *recycle scrap piston x*, berikut adalah hasil uji komposisi kimia spesimen dapat dilihat pada Tabel 1.

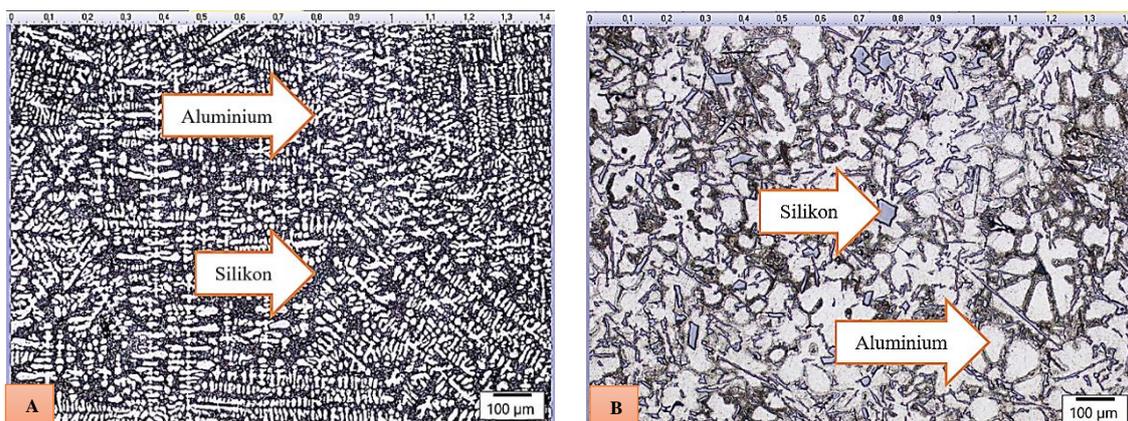
Menurut (Danhardjo, 2013), paduan aluminium silikon yang di gunakan pada piston ada dalam tiga kategori utama yaitu *hypoeutectic*, *eutectic* dan *hypereutectic*. Hasil pengujian diketahui bahwa kandungan silikon (Si) pada piston x sebesar 11,83%, karena mengandung kadar silikon yang cukup tinggi (11,7% sampai 12,2%) maka fasa yang terbentuk yaitu fasa *eutectic*. Sedangkan spesimen *ingot coran aluminium recycle scrap piston x* 5,428%, karena mengandung kadar silikon yang cukup rendah (dibawah 11,7%) maka fasa yang terbentuk yaitu fasa *hypoeutectic*. Hasil pengujian komposisi kimia kedua spesimen tersebut, jika dibandingkan dengan komposisi kimia berdasarkan standar ASM dapat dikatakan bahwa hasil spesimen piston x dan *ingot coran aluminium recycle scrap piston x* termasuk seri 4xx.x (Al-Si).

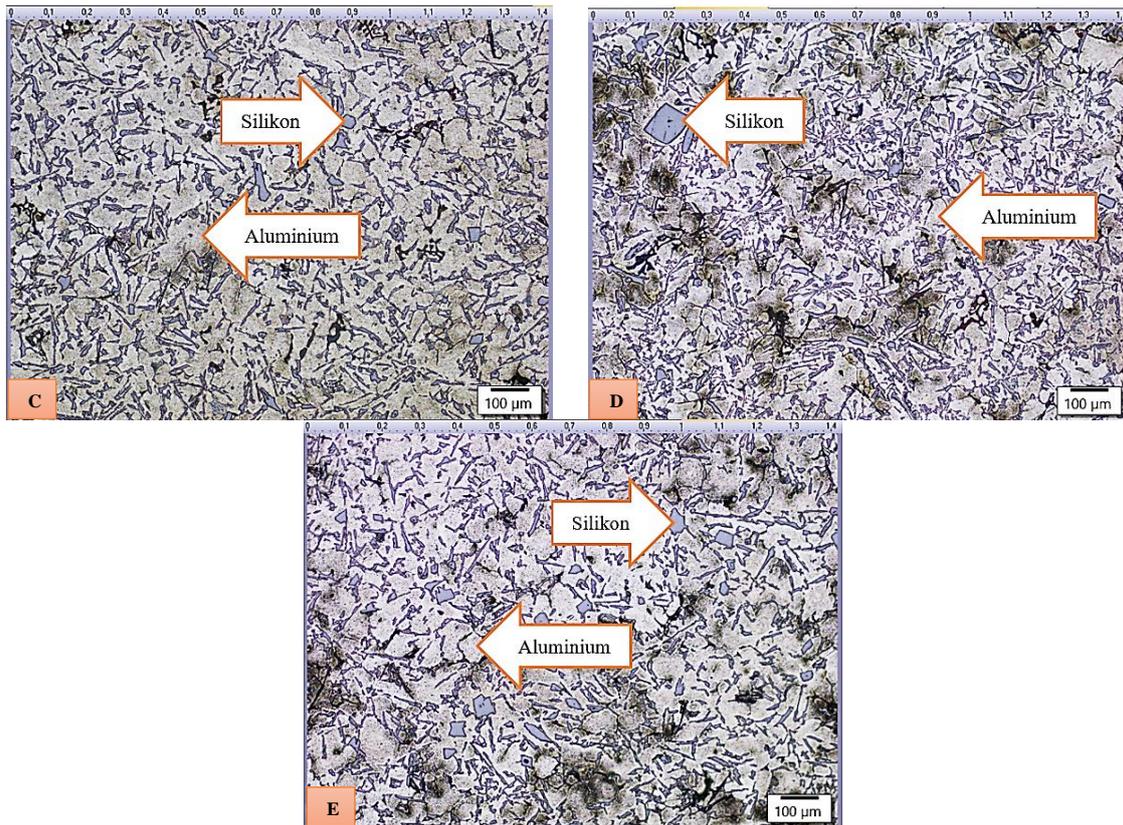
**Tabel 1.** Komposisi Kimia

Unsur	Sampel Uji	
	Piston X (Wt%)	Scrap Piston X (Wt%)
Al	84,93	91,07
Si	11,83	5,428
Fe	0,306	0,513
Cu	0,898	0,974
Mn	0,109	0,242
Mg	0,899	0,776
Cr	0,084	0,0077
Ni	0,689	0,910
Zn	0,188	0,011
Ti	0,038	0,035
V	0,011	0,010
Zr	0,0040	0,0042
Co	0,0032	0,0059
Other	0,0626	0,0051
Total	100	100

**b. Struktur mikro spesimen aluminium recycle scrap piston x**

Pengujian struktur mikro dilakukan menggunakan mikroskop optik. Pada spesimen uji dilakukan persiapan spesimen, mengikuti prosedur metalografi standar yang meliputi proses pengamplasan, *polishing* dan etsa dengan menggunakan larutan etsa *Keller Reagent* dengan komposisi 2 ml HF, 3 ml HCl, 5 ml HNO<sub>3</sub> dan 90 ml *Aquades*. Gambar 3 terlihat karakteristik dari fasa – fasa tersebut adalah fasa aluminium (Al) berwarna terang dan fasa silikon (Si) berwarna kelabu kehitam – hitaman.





**Gambar 3.** Struktur mikro Paduan Al-Si

(a) Piston x (b) Aluminium *recycle scrap* piston x (c) *Artificial aging* 190°C (d) *Artificial aging* 200°C (e) *Artificial aging* 210°C

Gambar 3 (a) terlihat fasa Al-Si dimana ukuran butir terlihat sangat kecil, struktur silikon yang terbentuk sangat kecil dan merata. Gambar 3 (b) struktur silikon terlihat bentuknya besar dan tidak merata. Gambar 3 (c) struktur aluminium yang teramati lebih dominan dibandingkan silikon, struktur fasa silikon berbentuk besar memanjang dan tidak merata. Gambar 3 (d) struktur silikon yang terbentuk terlihat lebih dominan dibandingkan aluminium dan ukuran butirnya lebih kecil, jika dibandingkan pada spesimen bertemperatur 190°C. Gambar 3 (e) terlihat perubahan pada alur butir silikon dimana pada temperatur 200°C teramati lebih dominan sedangkan pada temperatur 210°C kembali menurun atau lebih besar dan jaraknya berjauhan dari aluminium.

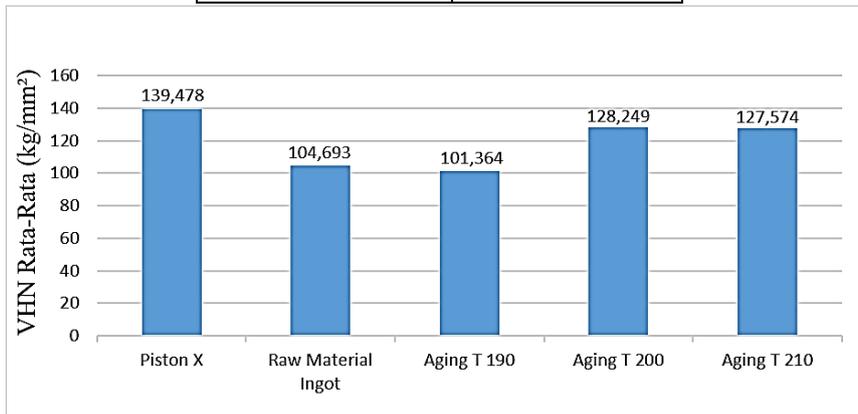
Perlakuan panas *aging* akan membuat sifat mekanik logam menjadi lebih baik. Hal ini dikarenakan perubahan struktur mikro akibat dari pembentukan presipitat. Dari pengamatan struktur mikro diatas dapat disimpulkan, bahwa pada *ingot* coran aluminium *recycle scrap* piston x yang telah mengalami proses perlakuan panas dengan cara di *artificial aging*, struktur silikon (Si) lebih kecil dan bentuknya memanjang daripada struktur silikon (Si) yang terbentuk pada piston x yang lebih kecil merata dan halus. Pembentukan unsur silikon (Si) yang baik dapat di lihat dari piston x di mana struktur yang terbentuk sangat rapi dan mengikat, sedangkan pada *ingot* coran aluminium *recycle scrap* piston x yang telah mengalami proses perlakuan panas dengan cara di *artificial aging*, silikon (Si) yang terbentuk sangat kecil dan memanjang, penyusunannya cukup terpisah jauh, ukuran butirnya lebih halus, sehingga memiliki keuletan dan kekuatan yang yang lebih baik (Polmear, 1995).

**c. Kekerasan spesimen aluminium *recycle scrap* piston x**

Pengujian kekerasan menggunakan pengujian kekerasan mikro *Vickers*, dengan menggunakan standar ASTM E 364 dengan rentang beban 10 g - 1000 g. Beban yang digunakan dalam penelitian adalah 100 g, dengan jarak antar titik 250  $\mu\text{m}$  dan waktu beban 10 detik, ditekankan kepermukaan bagian yang diukur dengan beban (F). Pada pengujian kekerasan ini dilakukan sebanyak 10 titik pada setiap benda uji, kemudian dianalisis kekerasan pada setiap titik dan dicari nilai kekerasan rata - ratanya.

**Tabel 2.** Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers*

Spesimen Al	VHN (kg/mm <sup>2</sup> )
Piston X	139,478
<i>Raw Material Ingot</i>	104,693
<i>Artificial Aging</i> 190°C	101,364
<i>Artificial Aging</i> 200°C	128,249
<i>Artificial Aging</i> 210°C	127,574



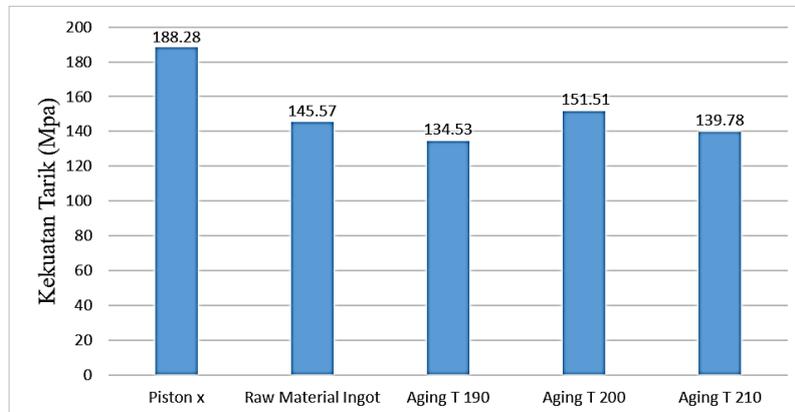
**Gambar 4.** Histogram hasil pengujian kekerasan

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen *ingot* coran aluminium *recycle scrap* piston x diperoleh nilai sebesar 104,693 kg/mm<sup>2</sup> dikarenakan struktur yang paling dominan adalah aluminium, sedangkan harga kekerasan pada spesimen piston x lebih tinggi yaitu sebesar 139,478 kg/mm<sup>2</sup> dikarenakan struktur silikon lebih dominan berbentuk kecil (lebih halus), dan padat.

*Ingot* coran aluminium *recycle scrap* piston x dilakukan proses perlakuan panas dengan cara di *artificial aging* dengan variasi temperatur 190°C, 200°C, dan 210°C masing-masing ditahan selama 60 menit, dimana nilai kekerasan yang diperoleh yaitu temperatur 190°C sebesar 101,364 kg/mm<sup>2</sup>, temperatur 200°C sebesar 128,249 kg/mm<sup>2</sup>, dan temperatur 210°C sebesar 127,574 kg/mm<sup>2</sup>. Nilai kekerasan rendah pada temperatur 190°C sebabkan oleh struktur aluminium yang lebih dominan dibandingkan silikon, strukur silikon berbentuk besar memanjang, tidak merata. Nilai kekerasan meningkat pada temperatur 200°C akibat dari struktur silikon yang lebih dominan dibandingkan aluminium, strukur silikon berbentuk memanjang kecil, merata dan menyatu lebih banyak. Sedangkan nilai kekerasan menurun pada temperatur 210°C akibat dari struktur silikon yang lebih dominan dibandingkan aluminium, tetapi strukur silikon berbentuk memanjang besar dan jumlahnya lebih sedikit.

**d. Kekuatan tarik spesimen aluminium *recycle scrap* piston x**

Pengujian tarik menggunakan *servo pulser*, dengan menggunakan standar ASTM E8M, dimana beban yang digunakan adalah 2000 kg. Hasil pengujian tarik spesimen aluminium *recycle scrap* piston x dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 5



**Gambar 5.** Histogram hasil pengujian tarik

Berdasarkan Gambar 5 terlihat adanya penurunan dan peningkatan pada semua spesimen, hasil memperoleh dari pengukuran tegangan tarik maksimum pada spesimen aluminium *recycle scrap* piston x adalah piston x sebesar 188,28 MPa, *raw material* ingot sebesar 145,57 MPa, *artificial aging* 190°C sebesar 134,53 MPa, *artificial aging* 200°C sebesar 151,51 MPa, dan *artificial aging* 210°C sebesar 139,78 MPa.

Nilai kekuatan tarik yang diperoleh pada material piston x jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan aluminium *recycle scrap* piston x dimana nilai tegangan tarik yang diperoleh yaitu sebesar 188,28 MPa dibanding dengan 145,57 MPa. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya proses pengecoran yang kurang sempurna. Selain itu, lamanya proses solidifikasi saat proses pendinginan juga mempengaruhi sifat mekanik material. Ukuran butir silikon dan aluminium yang besar mengakibatkan keuletan material coran aluminium *recycle scrap* piston x menjadi rendah sehingga material menjadi getas. Jika dibandingkan dengan piston x, ukuran butirnya jauh lebih halus dan merata, sehingga memiliki keuletan dan kekuatan yang lebih baik (Polmear, 1995). 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 (Zamani, 2015). Memodifikasi proses perlakuan panas dapat juga dilakukan untuk mendapatkan struktur mikro dan sifat mekanik yang diinginkan (Chua, dkk, 2006).

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kandungan silikon (Si) pada piston x sebesar 11,83%, karena mengandung kadar silikon yang cukup tinggi (11,7% sampai 12,2%) maka fasa yang terbentuk yaitu fasa *eutectik*. Sedangkan spesimen *ingot* coran aluminium *recycle scrap* piston x sebesar 5,428%, karena mengandung kadar silikon yang cukup rendah (dibawah 11,7%) maka fasa yang terbentuk yaitu fasa *hipoeutectik*.
2. Hasil struktur mikro piston x ukuran butir silikon lebih halus. Sedangkan struktur mikro *ingot* coran aluminium *recycle scrap* piston x bentuk butir silikon berbentuk jarum.
3. Hasil pengujian kekerasan pada spesimen piston x sebesar 139,478 kg/mm<sup>2</sup>, dibandingkan dengan aluminium *recycle scrap* piston x sebesar 104,693 kg/mm<sup>2</sup>.

Nilai kekerasan *recycle scrap* piston x jauh lebih rendah jika dibandingkan dengan piston asli. Dendrit pada aluminium untuk spesimen *recycle scrap* piston x lebih besar ukurannya di bandingkan dengan piston x.

4. Hasil pengujian kekerasan pada spesimen *recycle scrap* piston x yang dilakukan perlakuan panas yaitu 190°C sebesar 101,364 kg/mm<sup>2</sup>, 200°C sebesar 128,249 kg/mm<sup>2</sup>, dan 210°C sebesar 127,574 kg/mm<sup>2</sup>. Kekerasan aluminium paduan akan meningkat jika ukuran dendrit halus (kecil). Ini berarti, dendrit yang halus menghasilkan kekerasan dan kekuatan tarik yang tinggi.
5. Peningkatan kekuatan tarik tertinggi terjadi pada spesiemen piston x sebesar 188,28 MPa sedangkan nilai kekuatan tarik paling optimal terjadi pada spesiemen *artificial aging* temperatur 200°C sebesar 151,51 MPa.

## 5. SARAN

Untuk lebih menyempurnakan penelitian ini di waktu yang akan datang maka disarankan untuk melakukan:

1. Perlunya menambahkan unsur silikon (Si) pada raw material untuk memperoleh hasil kekerasan dan kekuatan tarik mendekati piston asli.
2. Pada proses quenching sebaiknya menggunakan media air yaitu aquades supaya bisa mendapatkan hasil yang maksimal.
3. Pada proses pembuatan cetakan diharapkan dengan menambahkan lubang udara diperbanyak supaya hasil ingot lebih baik.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- \_\_\_\_\_, 1990, *ASM Handbook Metallurgy and Microstructures*. ASM International. Handbook Committee, Vol. 9 United State.
- Begüm Akkayan, DDS, PhD, Burcu Sahin, DDS, and Hubert Gaucher, DDS, MScD., 2008, *The Effect of Different Surface Treatments on the Bond Strength of Two Esthetic Post Systems*.
- Budinski. 2001, “*Engineering Materials Properties and Selection*”, PHI New Delhi, pp. 517–536.
- 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.
- Danhardjo, D, (2013), “Analisis Sifat Mekanik Paduan Al-Si Pada *Cast Piston* Dan *Forged Piston*”, *Sainstech: Jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi*, 23(2).
- Helmy Purwanto, (2010), “Pengaruh Pengecoran Ulang Terhadap Kekuatan Tarik Dan Kekerasan Pada Aluminium Cor Dengan Cetakan Pasir”, *In Prosiding Seminar Nasional & Internasional* (Vol. 3, No. 1).
- Masyrukan, M, (2010), “Analisis Sifat Fisis dan Mekanis Aluminium (Al) Paduan Daur Ulang dengan Menggunakan Cetakan Logam dan Cetakan Pasir”.
- Nugroho, K. J., & Haryono, A. (2016). Analisa Sifat Mekanis Piston Bekas Hasil Proses Tempa.
- Polmear, I. J, 1995, *Light Alloys: Metallurgy of The Light Metals*, Butterworth-Heinemann: Oxford.
- R.P. Kurniya Sari, Siahaan, E., & Darmawan, S. (2016). Pengaruh Unsur Silikon Pada Aluminium Alloy (Al-Si) Terhadap Sifat Mekanis Dan Struktur Mikro. *Poros*, 14(1), 49-56.

- Saefuloh, I, dkk 201, “Studi karakterisasi sifat mekanik dan struktur mikro material piston alumunium-silikon *alloy*”, *FLYWHEEL: Jurnal Teknik Mesin Untirta*, 2(1), 56-62.
- Schonmetz, A, 1990, “Bahan dalam Pengerjaan Logam. Bandung”: Angkasa.
- Zamani, M., 2015, *Al-Si Cast Alloy Microstructure and Mechanical Properties at Ambient and Elevated Temperature*, School of Engineering, Jonkoping University, Sweden.