

Upaya Peningkatan Sifat Mekanik Daur Ulang Aluminium Velg Mobil dengan Proses Aging

Naif Fatkhurrohman¹, Anita Susiana^{2,*}, Angger Bagus Prasetyo³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta
Jl. Babarsari, Caturtunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta 55281 Telp. (0274) 485390

*Corresponding author: anita.susiana@gmail.com

Abstract

Aluminium is a light metal that is resistant to corrosion, strong, and easy to obtain so that its use as a base material continues to increase. However, the accumulation of used aluminium that is not processed properly can pollute the environment, so efforts are needed to recycle used aluminium so that it can be reused as before or into new products. This research uses aluminum alloy wheels X car, which is cast by the sand molding method with a melting temperature of 701°C. The specimen was process is carried out heat treatment by means of solution heat treatment at a temperature of 500°C, then in doing process artificial aging at various temperatures of 170°C, 190°C and 210°C, with a holding time of 1 hour and chilled directly in the air to room temperature. The tests carried out are chemical composition test, micro structure test, hardness test and tensile test. The results of the research on the chemical composition of wheels X car contain a phase hypereutectic where the Al content is 85.20 wt% and Si is 13.11 wt%. ingots recycled aluminium for wheels car contain a phase eutectic where the Al content is 85.80 wt% and Si 11.67 wt%. The specimen composition of wheels X car and ingots recycled aluminium of wheels is car categorized as 4xx.x series aluminium alloy. The results of the observation of the micro structure, the higher the temperature aging, the finer the grain size distribution of the silicon. The hardness values at temperature of aging 170oC are 66.0134 kg/mm2, 190oC are 73.6314 kg/mm2 and 210oC are 86.4172 kg/mm2. The value of tensile strength at the temperature of aging 170oC is 121.87 Mpa, 190oC is 100.68 Mpa and 210oC is 94.22 Mpa.

Keywords: aluminium, wheels, recycle, aging, heat treatment.

Abstrak

Aluminium merupakan logam ringan yang tahan terhadap korosi, kuat, dan mudah didapat sehingga penggunaannya sebagai bahan dasar terus meningkat. Namun, adanya penumpukan aluminium bekas yang tidak diolah dengan baik dapat mengotori lingkungan sehingga diperlukan upaya untuk mendaur ulang aluminium bekas supaya dapat dimanfaatkan kembali seperti sebelumnya maupun menjadi produk baru. Penelitian ini menggunakan bahan aluminium velg mobil X, yang dicor dengan metode cetakan pasir dengan temperatur peleburan 701°C. Spesimen dilakukan proses *heat treatment* dengan cara *solution heat treatment* pada temperatur 500°C, selanjutnya di lakukan proses *artificial aging* dengan variasi temperatur 170°C, 190°C, dan 210°C, dengan waktu tahan selama 1 jam dan di dinginkan langsung di udara hingga temperatur ruang. Pengujian yang dilakukan adalah uji komposisi kimia, uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji tarik. Hasil penelitian komposisi kimia velg mobil X mengandung fasa *hypereutectic* dimana kandungan Al sebesar 85,20wt% dan Si 13,11 wt%. *ingot* aluminium daur ulang velg mobil mengandung fasa *eutectic* dimana kandungan Al sebesar 85,80 wt% dan Si 11,67 wt%. Komposisi spesimen velg mobil X dan *ingot* aluminium daur ulang velg mobil di kategorikan sebagai aluminium paduan seri 4xx.x. Hasil pengamatan struktur mikro, jika semakin tinggi temperatur *aging*, penyebaran ukuran butir silikon menjadi semakin halus. Nilai kekerasan pada temperatur *aging* 170°C sebesar 66,0134 kg/mm², 190°C sebesar 73,6314 kg/mm² dan 210°C sebesar

86,4172 kg/mm². Nilai kekuatan tarik pada temperatur *aging* 170°C sebesar 121,87 Mpa, 190°C sebesar 100,68 Mpa dan 210°C sebesar 94,22 Mpa.

Kata kunci: aluminium, wheels, recycle, aging, heat treatment.

PENDAHULUAN

Aluminium merupakan salah satu logam ringan yang tahan terhadap korosi, kuat, dan mudah didapat sehingga penggunaannya sebagai bahan dasar terus meningkat. Logam aluminium merupakan salah satu jenis logam yang dapat dilakukan proses manufaktur (Prasetyo, 2015). Namun adanya penumpukan aluminium bekas yang tidak diolah dengan baik dapat mengotori lingkungan sehingga diperlukan upaya untuk mendaur ulang aluminium bekas supaya dapat dimanfaatkan kembali seperti sebelumnya maupun menjadi produk baru. Aluminium mempunyai sifat hantaran listrik yang baik serta sifat baik lainnya sebagai logam. Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni, dan sebagainya, secara satu persatu atau bersama-sama, memberikan juga sifat-sifat baik lainnya seperti ketahanan aus dan koefisien pemuaian rendah. Material ini dipergunakan dalam bidang yang luas bukan saja keperluan rumah tangga tetapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut dan konstruksi (Surdia dan Saito, 1992).

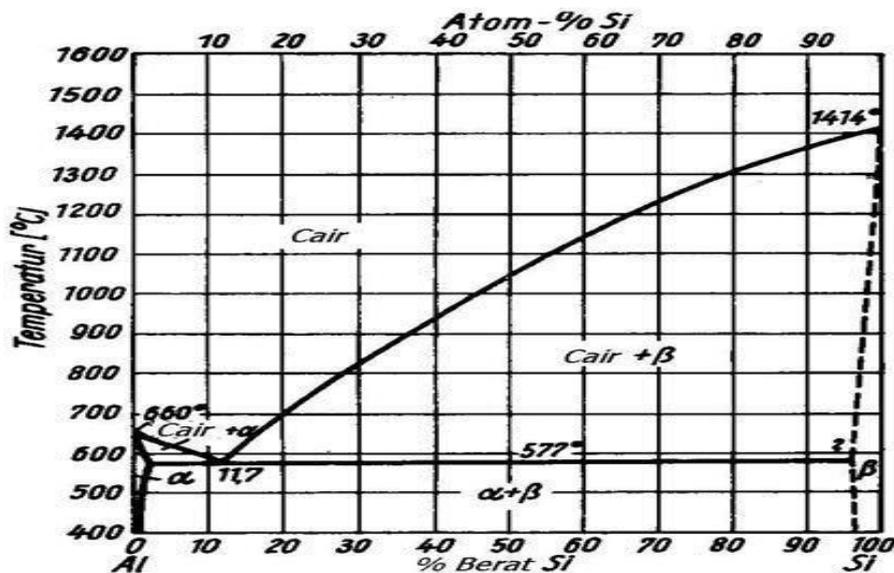
Pemanfaatan daur ulang aluminium sangat jelas, saat ini 40% dari semua aluminium yang digunakan dalam konstruksi didapat dari daur ulang, namun angka ini terus meningkat sebab konsep penggunaan daur ulang dalam suatu komponen bangunan sudah diterima secara luas. Dalam dunia industri, kebutuhan akan aluminium sangat banyak dikarenakan semakin banyaknya kebutuhan yang menggunakan aluminium mengharuskan pabrik-pabrik manufaktur untuk memproduksinya (Simpson, 1999). 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. Keterbatasan ketersediaan aluminium di dunia karena penggunaannya yang terus meningkat menjadikan *recycle* aluminium sebagai salah satu pilihan untuk mengurangi produksi aluminium primer (bauxit). Penggunaan *recycle* aluminium untuk komponen mesin menjadi alternatif pilihan untuk keberlangsungan dunia industri kedepannya (Haris dan Iswanto, 2012).

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat mekanik suatu paduan adalah komposisi kimia, perlakuan panas (*heat treatment*), proses pengecoran dan proses pengerjaan. Perlakuan panas (*heat treatment*) merupakan proses yang bertujuan untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu pada logam. Dengan memberikan panas pada suatu logam dengan temperatur tertentu maka akan mendapatkan tingkat kekerasan logam yang tinggi atau menurunkan tingkat kekerasan logam serta dapat meningkatkan ketangguhan logam tersebut. Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan penuaan pengerasan (*aging hardening*). Melalui penuaan keras, logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Pada paduan aluminium, *aging hardening* dilakukan dalam keadaan dingin dan dalam keadaan panas. Penuaan pengerasan (*aging hardening*) berlangsung dalam tiga tahap yaitu *solution heat treatment - quenching - aging hardening* (Totten, 2003).

Respati dkk, 2010, dalam penelitiannya mempelajari dampak tekanan dan temperatur cetakan terhadap sifat fisis dan mekanis pengecoran *squeeze (direct squeeze casting)* dalam paduan aluminium daur ulang dengan kandungan 6,3%Si dan 2,1%Fe. Paduan dilebur dalam dapur krusibel dan dituang pada temperatur 700°C dalam cetakan yang berbentuk prisma yang dipanaskan dengan variasi temperatur 300°C dan 400°C. Tekanan diberikan sebesar 0 MPa,

10 MPa, 20 MPa dan 30 MPa selama 100 detik. Pengujian yang dilakukan yaitu : pengujian struktur mikro diamati menggunakan mikroskop optik, perubahan sifat mekanis dilakukan menggunakan pengujian kekerasan *Brinell*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengecoran *squeeze* mampu mengurangi cacat penyusutan, meningkatkan dan meratakan distribusi kekerasan *Brinell*. Penurunan temperatur cetakan menyebabkan struktur mikro silikon semakin halus dan kekerasan naik. Kekerasan *Brinell* pada temperatur cetakan 300°C dengan tekanan 0 MPa = 52,97 BHN, 10 MPa = 57 BHN, 20 MPa = 58,97 BHN, 30 MPa = 60 BHN, sedangkan pada temperatur cetakan 400°C dengan tekanan 0 MPa = 51 BHN, 10 MPa = 57 BHN, 20 MPa = 58,79 BHN, 30 MPa = 59,25 BHN.

Alian dan Safikno, 2018, melakukan eksperimen perbandingan antara aluminium bekas yang tidak dilakukan perlakuan panas dengan aluminium bekas yang dilakukan proses *artificial aging* dalam temperatur 160°C, 190°C, dan 210°C menggunakan waktu tahan selama 5 jam. Pengujian yang dilakukan adalah uji kekerasan, uji impak dan struktur mikro. Pada pengujian kekerasan mengalami peningkatan kekerasan pada temperatur 190°C yang didinginkan menggunakan air dimana kekerasan awalnya sebesar 92,33 BHN menjadi 113,12 BHN. Pengujian impak nilai keuletan tertingginya pada temperatur 160°C dimana spesimen didinginkan di udara, nilai keuletannya 4,19 *joule* menjadi 5,83 *joule*. Pada struktur mikro terjadi penyebaran dan penyempitan batas butir aluminium. Hasil pengujian menunjukkan bahwa lamanya waktu tahan dan proses pendinginan berpengaruh terhadap sifat mekanik aluminium bekas.



Gambar 1. Diagram fasa Al-Si (Surdia dan Saito, 1999)

Struktur mikro paduan Al-Si sangat tergantung pada jumlah kandungan Si dalam aluminium. Untuk paduan *hypo-eutectic* Al-Si terdiri dari fasa utama Al dengan fiber Si terdistribusi pada matriks Al, untuk paduan *hyper-eutectic* fasa Si terbentuk sebagai fasa utama partikel *equiaxed* dan fiber Si. Fasa silikon primer dari paduan *hyper-eutectic* menyebabkan paduan bersifat tahan aus, koefisien termal rendah dan fluiditas meningkat tetapi dapat mengurangi mampu permesinan dan meningkatkan porositasnya (Davis, 1994).

Menurut (Danhardjo, 2013) kandungan silikon pada diagram fase Al-Si ini terdiri dari 3 macam yaitu :

1. *Hypo-eutectic* yaitu apabila terdapat kandungan silikon < 11.7 % dimana struktur akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah struktur *ferrite* (alpha) kaya aluminium, dengan struktur eutektik sebagai tambahan.
2. *Eutectic* yaitu apabila kandungan silikon yang terkandung didalamnya sekitar 11.7% sampai 12.2%. Pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari

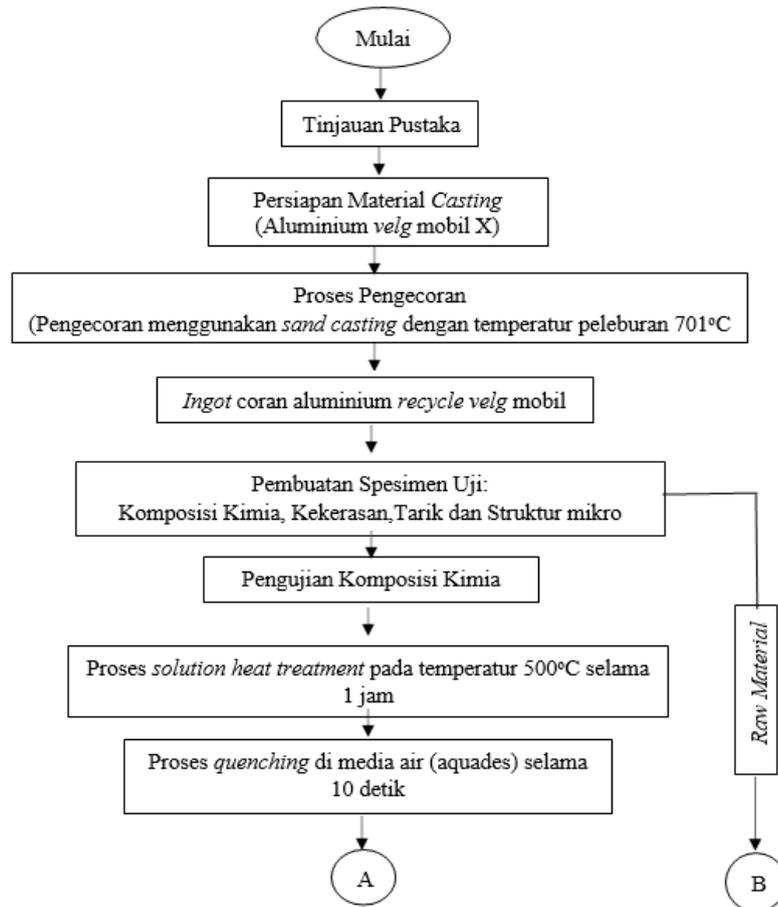
fasa cair kepadat).

3. *Hypereutectic* yaitu apabila komposisi silikon diatas 12.2 % sehingga kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Keberadaan struktur kristal silikon primer padadaerah ini mengakibatkan karakteristik yaitu:

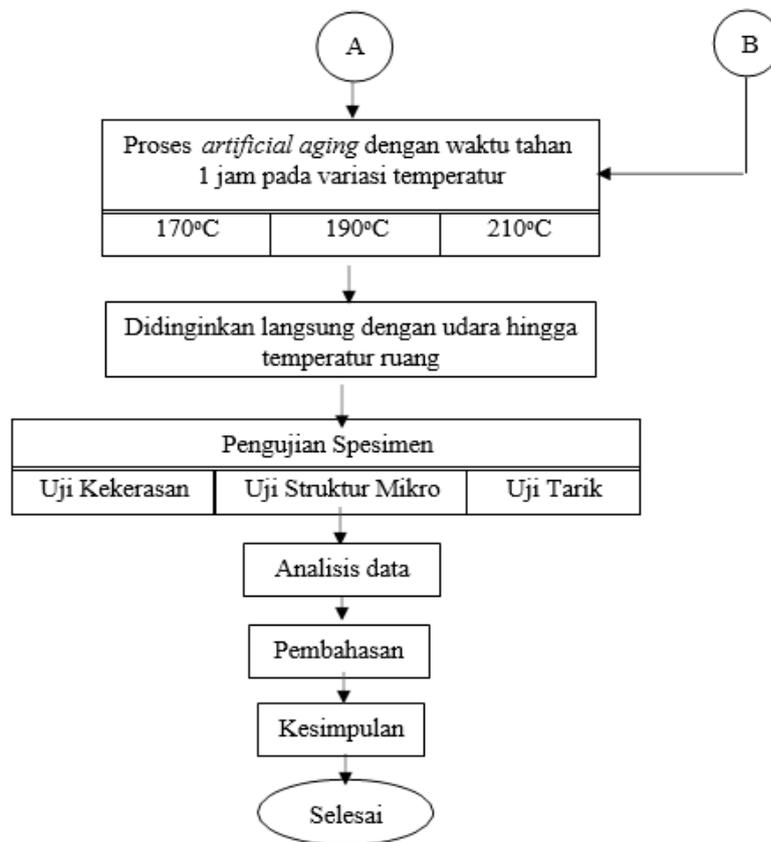
- a) Ketahanan aus paduan meningkat.
- b) Ekspansi termal yang rendah.
- c) Memiliki ketahanan retak panas (*hot trearing*) yang baik.

Fungsi lain dari unsur silikon dapat mereduksi koefisien ekspansi termal dari paduan aluminium. Selama pemanasan terjadi, pemuaian volume paduan tidak terlalu besar. Hal ini akan menjadi sangat penting saat proses pendinginan dimana akan terjadi penyusutan volume paduan Aluminium (ASM International, 1993).

METODE PENELITIAN



Gambar 2. Diagram alir penelitian



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Bahan yang digunakan adalah *velg* mobil bekas yang dilebur di dalam dapur krusibel. Spesimen dipersiapkan untuk beberapa pengujian yaitu : uji komposisi kimia, uji struktur mikro, uji kekerasan dan uji tarik. Langkah pertama mempersiapkan spesimen adalah proses pemotongan menggunakan gergaji besi untuk pengujian komposisi kimia dan pengujian struktur mikro berukuran diameter 25 mm dan tinggi 13 berjumlah 4 spesimen, pengujian kekerasan berukuran diameter 25 mm, tinggi 10 mm berjumlah 4 spesimen dan pengujian kekuatan tarik membutuhkan 13 spesimen dengan ukuran sesuai dengan standar ASTM E8M.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji Komposisi Kimia

Pengujian komposisi kimia dilakukan pada *velg* mobil X dan coran *ingot* daur ulang *velg* mobil menggunakan alat *spectrometer* untuk mengetahui unsur yang terdapat pada material yang akan di ujikan. Hasil pengujian komposisi kimia dapat dilihat pada Tabel 1.

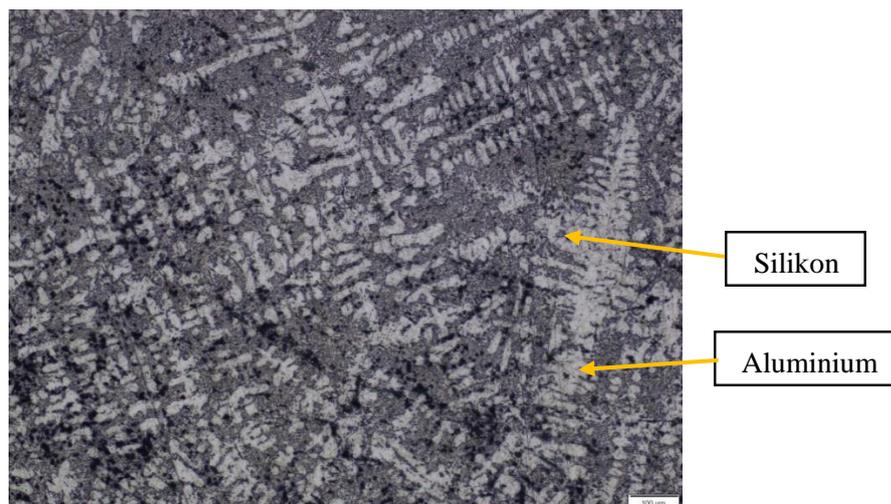
Tabel 1. Hasil pengujian komposisi kimia

Sampel uji	Velg Mobil X	Ingot Daur Ulang Velg Mobil
Al	85,20	85,80
Si	13,11	11,67
Fe	0,860	0,837
Cu	0,0050	0,087
Mn	0,422	0,272
Mg	0,240	0,369
Ni	0,020	0,0085
Zn	0,011	0,659
Ti	0,096	0,107

Berdasarkan diagram fasa Al-Si (Danhardjo, 2013), hasil pengujian diketahui bahwa kandungansilikon (Si) pada *velg* mobil x sebesar 13.11%, karena mengandung kadar yang cukup tinggi di atas 12.2% maka fasa yang terbentuk yaitu *hypereutectic*. Unsur Si pada spesimen coran *ingot* daur ulang *velg* mobil x sebesar 11.67%, karena kadungan silikon (Si) pada spesimen ini di bawah 11.7% maka fasa yang terbentuk yaitu fasa *hypoeutectic*.

Hasil Pengujian Struktur Mikro

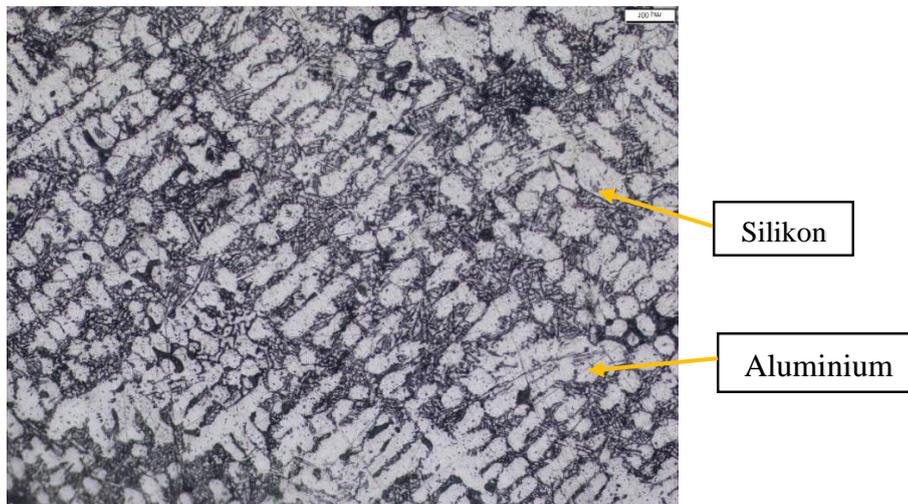
Hasil pengujian struktur mikro dapat di lihat pada Gambar 4.- Gambar 8. Pengujian struktur mikro dilakukan pada spesimen yang berjumlah 5 buah yaitu 1 *velg* mobil X, 1 coran *ingot* daur ulang *velg* mobil dan 3 spesimen perlakuan panas *artificial aging* dengan variasi temperatur yaitu 170°C, 190°C dan 210°C ditahan selama 1 jam dan didinginkan langsung dengan udara hingga temperatur ruang. Skala yang dipakai pada foto mikro diperbesar 100x tiap 1 strip 100 mikron. Fasa aluminium (Al) berwarna terang, sedangkan fasa silikon (Si) berwarna kelabu kehitam-hitaman (Alian dan Safikno, 2018).



Gambar 4. Struktur mikro *velg* mobil X

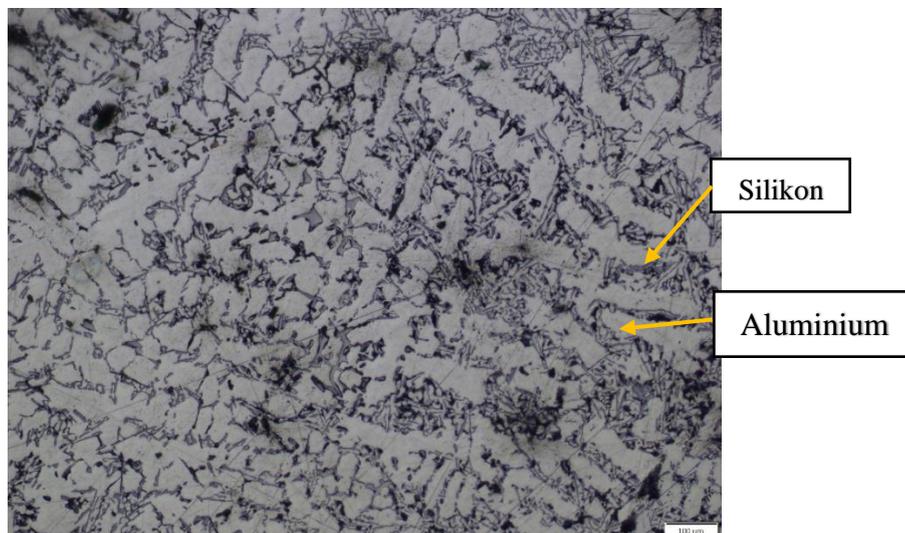
Gambar 4 merupakan hasil foto struktur mikro *velg* mobil X, dimana pengamatan struktur mikro terlihat fasa Al-Si dengan ukuran butir sangat kecil. Struktur silikon yang terlihat lebih dominan dibandingkan dengan aluminium, terlihat luasan butir struktur

silikonnya kecil (halus) bentuk butir seperti titik dan tersebar merata pada seluruh bagian, luasan butir struktur aluminium kecil (halus) dan tersebar merata.



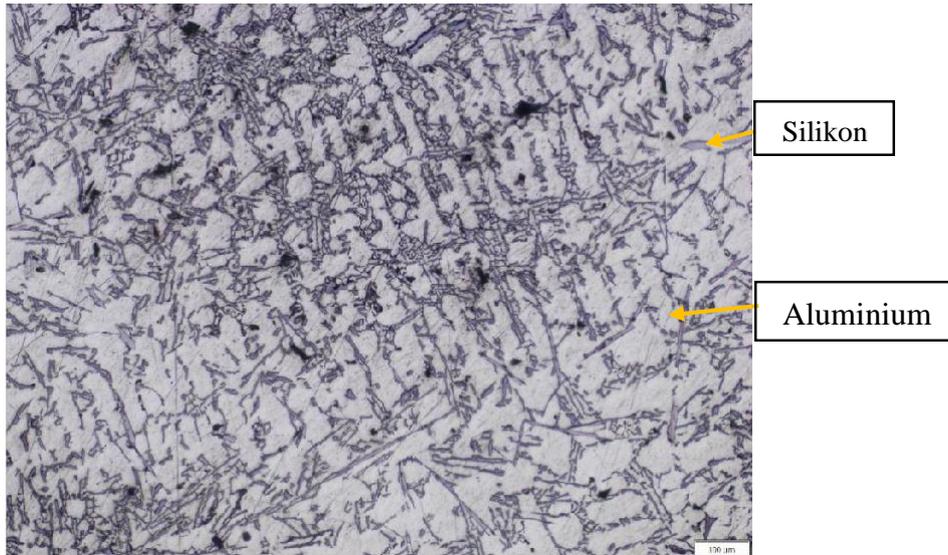
Gambar 5. Struktur mikro *ingot* coran aluminium daur ulang *velg* mobil

Gambar 5 Merupakan hasil pengujian foto struktur mikro *raw material ingot* coran aluminium daur ulang *velg* mobil. Hasil dari pengamatan struktur mikro pada *raw material ingot* coran aluminium daur ulang *velg* mobil juga terdapat fasa Al-Si. Pada struktur mikro *ingot* coran aluminium daur ulang *velg* mobil, struktur aluminium yang teramati lebih dominan dibandingkan silikon, terlihat luasan butir struktur aluminium membesar (kasar) dan tersebar merata, luasan struktur silikon membesar, menyebar merata dan beberapa terbentuk seperti jarum memanjang.



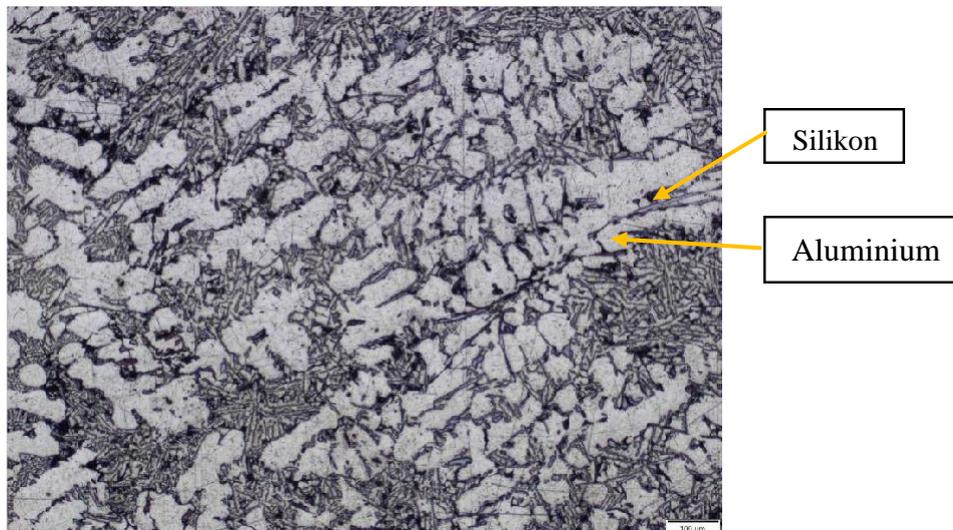
Gambar 6. Struktur mikro *artificial aging* 170°C

Gambar 6 merupakan hasil struktur mikro spesimen *ingot* coran aluminium daur ulang *velg* mobil X yang telah mengalami proses perlakuan panas dengan cara di *artificial aging* pada temperatur 170°C dan lama penahanan 1 jam. Struktur aluminium yang teramati lebih dominan dibandingkan silikon, luasan butir struktur aluminium membesar dan tersebar merata, luasan struktur silikon membesar dan tersebar merata namun jarak butirnya berjauhan.



Gambar 7. Struktur mikro *artificial aging* 190°C

Gambar 7 merupakan hasil struktur mikro spesimen ingot coran aluminium daur ulang *velgmobil X* yang telah mengalami proses perlakuan panas dengan cara di *artificial aging* pada temperatur 190°C dan lama penahanan 1 jam. Struktur silikon yang terbentuk lebih dominan dibandingkan aluminium, luasan butir struktur silikon mengecil dan tersebar merata, luasan butir aluminium membesar dan tersebar merata.



Gambar 8. Struktur mikro *artificial aging* 210°C

Gambar 8 merupakan hasil struktur mikro spesimen *ingot* coran aluminium daur ulang *velgmobil X* yang telah mengalami proses perlakuan panas dengan cara di *artificial aging* pada temperatur 210°C dan lama penahanan 1 jam. Terlihat perubahan pada alur butir silikon dimana pada temperatur 210°C struktur silikon yang terbentuk lebih dominan dibandingkan aluminium, luasan struktur silikon semakin mengecil (lebih halus), berbentuk memanjang seperti jarum dan tersebar merata pada setiap bagian, luasan aluminium mengecil dan tersebar merata.

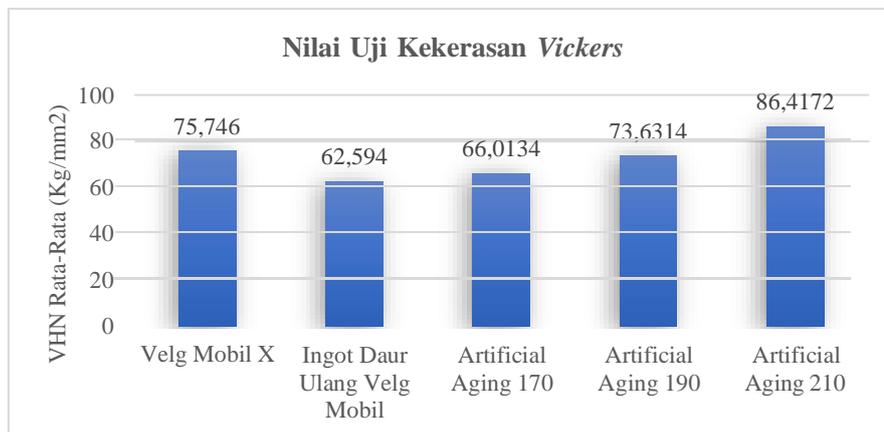
Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan menggunakan pengujian kekerasan makro *Vickers*, menggunakan standar ASTM E 384 dengan rentang beban 1kg-120kg. Beban yang digunakan dalam penelitian ini adalah 30 kg dengan waktu beban 15 detik dan jarak antar titik 500 μm, ditekan

kepermukaan bagian yang di ukur dengan beban (F). Pengujian kekerasan ini dilakukan sebanyak 5 titik pada setiap benda uji, kemudian di analisis nilai kekerasannya. Hasil pengujian rata-rata kekerasan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil rata-rata pengujian kekerasan *Vickers*

No	Velg Mobil X (Kg/mm ²)	Ingot Daur Ulang Velg Mobil (Kg/m ²)	Artificial Aging 170°C (Kg/mm ²)	Artificial Aging 190°C (Kg/mm ²)	Artificial Aging 210°C (Kg/mm ²)
1	73,47	53,88	64,557	80,388	97,265
2	78,9	65	65,372	70,821	80,932
3	76,98	66,29	62,354	68,438	82,016
4	75,9	64,72	68,317	68,045	87,058
5	73,48	63,08	69,467	80,465	84,815
Rata ²	75,746	62,594	66,0134	73,6314	86,4172



Gambar 9. Hasil nilai pengujian kekerasan *Vickers*

Hasil pengujian kekerasan pada spesimen *velg* mobil sedan X diperoleh nilai sebesar 75,746kg/mm² dikarenakan struktur silikon yang terlihat lebih dominan dibandingkan dengan aluminium, berbentuk seperti titik (lebih halus) dan merata padat pada seluruh bagian, sedangkan nilai kekerasan pada spesimen *ingot* coran aluminium daur ulang *velg* mobil lebih rendah yaitu 62,594 kg/mm² dikarenakan struktur aluminium lebih dominan dibandingkan silikonnya. *Ingot* coran aluminium daur ulang *velg* mobil yang dilakukan proses perlakuan panas dengan cara *artificial aging* dengan variasi temperatur 170°C, 190°C dan 210°C masing-masing ditahan selama 1 jam dan di dinginkan langsung di udara terbuka hingga temperatur ruang, dimana nilai kekerasan yang diperoleh yaitu pada temperatur 170°C sebesar 66,0134 kg/mm², temperatur 190°C sebesar 73,6314 kg/mm² dan temperatur 210°C sebesar 86,4172 kg/mm².

Nilai kekerasan terendah pada *ingot* coran aluminium daur ulang *velg* mobil disebabkan oleh struktur aluminium yang lebih dominan dibandingkan silikon, struktur silikon berbentuk besar memanjang, tidak merata dan jaraknya berjauhan. Nilai kekerasan meningkat pada temperatur 210°C akibat dari struktur silikon yang lebih dominan dibandingkan aluminium, struktur silikon berbentuk lebih kecil memanjang, merata dan menyatu lebih banyak. Perlakuan panas *aging* dapat mempengaruhi nilai kekerasan. Peningkatan tersebut diakibatkan terjadinya proses *precipitation hardening* spesimen dan tertahannya pergerakan

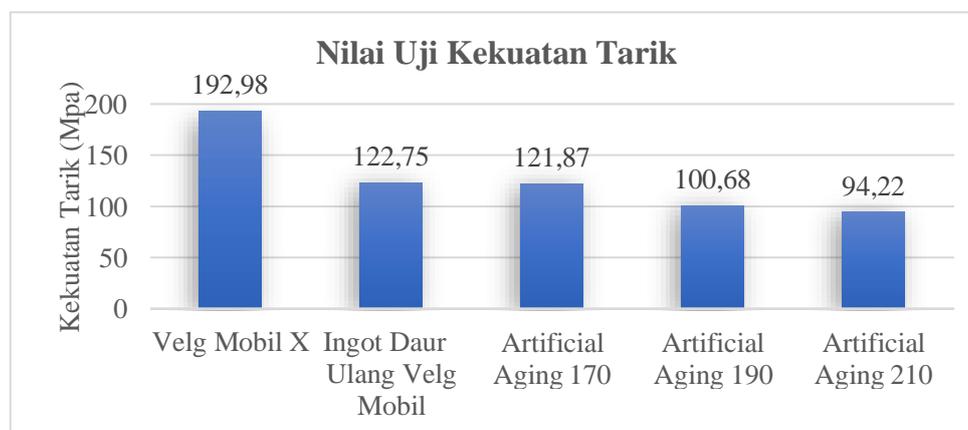
dislokasi saat terjadi deformasi yang disebabkan dengan terbentuknya partikel pertisipat hasil proses *aging* (Pranata, M., dkk, 2016).

Pengujian Tarik

Pengujian tarik menggunakan *servopulser*, dengan menggunakan standar ASTM E8M, dimana beban yang digunakan adalah 2000 kg. Pengujian kekuatan tarik dilakukan pada spesimen *velg* mobil sedan X, *raw material ingot* coran aluminium daur ulang *velg* mobil dan material *ingot* aluminium *velg* mobil yang dilakukan proses perlakuan panas dengan cara di *artificial aging* dengan variasi temperatur 170°C, 190°C dan 210°C masing-masing ditahan selama 1 jam dan didinginkan langsung di udara terbuka hingga temperatur ruang. Hasil pengujian kekuatan tarik dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengujian kekuatan tarik

Keterangan : Beban 2 ton = 2000 kg								
Spesimen	t (mm)	w (mm)	A (mm ²)	L0 (mm)	L1 (mm)	ΔL (mm)	σ max (Mpa)	ε (%)
Velg Mobil X	5,48	6,37	34,90	30	31,59	1,59	192,98	5,3
Ingot Daur Ulang Velg Mobil	5,99	6,09	36,48	30	30,32	0,32	122,75	1,06
Aging 170°C	5,95	5,92	35,22	30	30,86	0,86	121,87	2,86
Aging 190°C	5,88	5,96	35,04	30	30,4	0,4	100,68	1,33
Aging 210°C	5,59	6	33,54	30	30,44	0,44	94,22	1,46



Gambar 10. Histogram hasil tegangan tarik

Berdasarkan Gambar 10 terlihat adanya penurunan dan peningkatan pada semua spesimen, nilai tertinggi terjadi pada spesimen *velg* mobil X sebesar 192,98 Mpa, sedangkan nilai kekuatantarik paling rendah terjadi pada spesimen *artificial aging* 210°C sebesar 94,22 Mpa. Berdasarkan nilai kekuatan tarik paling optimal terjadi pada spesimen *artificial aging* 170°C sebesar 121,87 Mpa. Nilai kekuatan tarik yang diperoleh pada material *velg* mobil X lebih tinggi jika dibandingkan dengan material *ingot* daur ulang *velg* mobil dimana nilai tegangan tarik yang diperoleh sebesar 192,98 Mpa dibandingkan dengan 122,75 Mpa. Perbedaan ini disebabkan oleh adanya proses pengecoran yang kurang sempurna, sehingga menyebabkan porositas sangat banyak pada spesimen *ingot* daur ulang *velg* mobil. Selain itu, proses pendinginan juga mempengaruhi sifat mekanik material. Ukuran butir silikon dan

aluminium yang besar mengakibatkan keuletan material coran *ingot* daur ulang *velg* mobil menjadi rendah sehingga material menjadi getas. Jika dibandingkan dengan *velg* mobil X, ukuran butir silikon dan aluminium jauh lebih halus dan merata, sehingga memiliki keuletan dan kekuatan yang lebih baik.

Pada temperatur 100°C sampai 180°C cenderung kekuatan tarik meningkat, ini terjadi karena nilai kekuatan tarik meningkat seiring dengan berlangsungnya transformasi metastabil yang terbentuk akibat proses *aging*. Fasa inilah yang membentuk persipit yang dapat meningkatkan sifat mekanik paduan aluminium, sedangkan pada temperatur 220°C mengalami penurunan. Hal ini ada indikasi bahwa adanya perubahan ukuran persipit yang semakin besar mengakibatkan nilai kekuatan tarik menjadi semakin turun. Sedangkan jika temperatur *aging* ditingkatkan setelah tercapai titik optimum maka kekuatan cenderung akan menurun (Pranata, M., dkk, 2016).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Kandungan silikon (Si) pada aluminium *velg* mobil sedan X sebesar 13,11%, karena mengandung kadar silikon yang tinggi (diatas 12.2%) maka fasa yang terbentuk yaitu fasa *hypereutectic*. Sedangkan spesimen *ingot* aluminium daur ulang *velg* mobil sebesar 11,67%, karena mengandung silikon lebih rendah (11.7% sampai 12.2%) maka fasa yang terbentuk yaitu fasa *eutectic*.
2. Hasil pengamatan struktur mikro dapat disimpulkan, semakin tinggi temperatur *aging* ukuran butir aluminium semakin besar dan merata, sementara ukuran butir silikonnya semakin kecil dengan sebaran merata.
3. Hasil nilai kekerasan spesimen *velg* mobil X diperoleh nilai sebesar 75,746 kg/mm², sedangkan spesimen *ingot* aluminium daur ulang *velg* mobil lebih rendah yaitu 62,594 kg/mm². Hasil proses perlakuan panas dengan cara *artificial aging*, dimana nilai kekerasan yang diperoleh pada temperatur *aging* 170°C sebesar 66,0134 kg/mm², temperatur 190°C sebesar 73,6314 kg/mm² dan temperatur 210°C sebesar 86,4172 kg/mm². Hasil pengujian kekerasan disimpulkan bahwa semakin tinggi temperature *aging* nilai kekerasan semakin meningkat.
4. Kekuatan tarik tertinggi terjadi pada spesimen *velg* mobil X sebesar 192,98 Mpa, sedangkan nilai kekuatan optimum terjadi pada spesimen *artificial aging* temperatur 170°C yaitu sebesar 121,87 Mpa. Hasil pengujian tarik dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi temperatur *aging*, nilai kekuatan tarik semakin menurun.

SARAN

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

1. Perlunya menambahkan unsur paduan seperti silikon (Si) dan unsur mangan (Mn) pada spesimen *ingot* aluminium daur ulang *velg* mobil untuk memperoleh hasil kekerasan dan kekuatan tarik mendekati spesimen *velg* mobil X.

REFERENSI

- Alian, H., Safikno, F. A. (2018). Pengaruh temperatur dan waktu tahan pada proses *artificial aging* aluminium daur ulang terhadap kekerasan dan struktur mikro. Jurnal rekayasa mesin Vol. 18No. 2, Hal 79-84.
- ASM Handbook. (1990). *Metallorgraphy and Microstructures*. United State: Handbook Committee. Vol. 9.

- ASM Specialty Handbook*. (1993). *Aluminium and Aluminium Alloys*. Ohio, USA.
- ASTM E8M Handbook*. (1924). *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*¹. American.
- Danhardjo, D, (2013), “ Analisis Sifat Mekanik Paduan Al-Si Pada *Cast piston* dan *Forged piston*”*Saintech: jurnal Penelitian dan Pengkajian Sains dan Teknologi*, 23(2).
- Davis, H.E., Troxell, G.E., Wiskocil, C.T. (1955). *The Testing and Inspection of Engineering Materias*. McGraw-Hill Book Company, New York, USA.
- Iswanto, E. H. (2012). Pengaruh Natural dan *Artificial Aging* Pada *Velg* Bahan A356.0. *IndustrialResearch Workshop and National Seminar 2012*. Hal 88-94.
- Pranata, M. D. E. (2016). Analisis Struktur Mikro Dan Sifat Mekanik Paduan Al 2014 Hasil Proses *Aging* Dengan Variasi Temperatur Dan Waktu Tahan. *Jurbal Furnace*, 2.
- Prasetyo, A. B. (2015). Aplikasi Metode Taguchi Pada Optimasi Parameter Pemesinan Terhadap Kekasaran Permukaan dan Keausan Pahat HSS Pada Proses Bubut Material ST 37. *Mekanik Vol 13 No 2*.
- Respati, H. Purwanto, M, S. Mauluddin. (2010). Pengaruh tekanan dan temperatur cetak terhadap sifat mekanik daur ulang aluminium. *Prosiding seminar nasional UNIMUS*. Hal 284-289.
- Simpson J. (1999). *Aluminium In the Construction Industry*. London: Kawneer.
- Surdia, T., Saito, S. (1999). *Pengetahuan Bahan Teknik*. PT Pradnya Paramitha. Jakarta.
- Totten, G. E. (2003). *Physical Metallurgy and Process handbook*. New York : Marcel Dekker, Inc