

**PERLAKUAN PANAS PADUAN AL-SI PADA
PROTOTIPE PISTON BERBASIS MATERIAL
PISTON BEKAS**



TESIS

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik Mesin
pada program Pascasarjana Universitas Diponegoro**

Disusun oleh:

FUAD ABDILLAH

NIM. L4E 008 005

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK MESIN
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
2010**

ABSTRAK
PERLAKUAN PANAS PADUAN AL-SI PADA PROTOTIPE PISTON
BERBASIS MATERIAL PISTON BEKAS

FUAD ABDILLAH
NIM. L4E 008 005

Pemakaian aluminium pada industri otomotif terus meningkat sejak tahun 1980, Khususnya paduan aluminium yang digunakan untuk pembuatan piston, blok mesin, kepala silinder dan katup. Dalam penelitian ini menggunakan limbah piston bekas motor bensin yang didaur ulang (*remelting*) menjadi piston Daihatsu Hi-jet 1000 dengan penambahan ADC 12 . Piston bekas yang memiliki komposisi 87,82 wt% Al, 7,76 wt% Si, 0,775 wt% Fe, 1,40 wt% Cu, 0,368 wt% Mg ditambah material ADC 12 dilebur dengan proses penuangan grafitasi pada suhu penuangan 700°C, 750°C dan 800°C. Kegiatan penelitian meliputi uji komposisi, struktur mikro, dan kekerasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 75% ADC 12 memiliki persentase Si yang paling besar yaitu rata-rata 8,70 % Si. Penambahan 50% ADC 12 mempunyai perbedaan yang tipis sekali dibandingkan dengan penambahan 75 % ADC 12 yaitu 8,61 % Si (selisih 0,09 %). Sehingga untuk efektifitas dan efisiensi dalam proses perlakuan panas material piston bekas maka komposisi dengan perbandingan 50% PB + 50 % ADC 12 dipilih pada penelitian ini

Setelah proses perlakuan panas nilai kekerasan material piston 50% PB + 50% ADC12 dapat meningkat dan beberapa hasil pengujian memiliki kekerasan yang sama dan bahkan diatas kekerasan piston asli Daihatsu yaitu sebesar 76 HRB. Hasil perlakuan panas yang menghasilkan nilai kekerasan yang melebihi kekerasan piston asli Daihatsu adalah perlakuan panas dengan temperatur aging 155 °C dengan waktu aging 2, 4 dan 5 jam.

Kata kunci: Perlakuan panas, *Artificial Aging*, *Holding time*

ABSTRACT

HEAT TREATMENT OF AL-SI ALLOY OF PROTOTYPE PISTON BASED ON WASTE PISTON MATERIAL

FUAD ABDILLAH

NIM. L4E 008 005

The use of aluminum in the automotive industry continues increasing since 1980, in particular aluminum alloy is used for the manufacture of pistons, engine blocks, cylinder heads and valves. In this study the use of former gasoline engine piston waste was recycled (remelted) to the piston Daihatsu Hi-Jet 1000 with the addition of ADC 12. The former Piston having composition 87.82 wt% Al, 7, 76 wt% Si, 0.775 wt% Fe, 1.40 wt% Cu, 0.368 wt% Mg plus ADC 12 material was casted by gravity process at pouring temperature of 700°C, 750°C and 800°C. Research activities include the test composition, microstructure, and hardness

The results showed that the addition of 75%, ADC 12 has the greatest percentage of Si at the average of 8.70% Si. The addition of 50%, of ADC 12 resulted in very minor differences os Si composition compared with the addition of 75%, of ADC 12 (8.61% Si difference 0.09%). So for the effectiveness and efficiency in the process of heat treatment, the composition of the former Piston material with a ratio of 50% PB + 50% ADC 12 was selected in this study

After the heat treatment process of piston material hardness value of 50% PB + 50% ADC12 can be improved and some test results have the same hardness value and even some are over the original piston Daihatsu that is 76 HRB. The result of heat treatment produced hardness value over the hardness that exceeds the value of the original piston Daihatsu heat treatment temperature of 155 °C aging with aging time 2, 4 and 5 hours.

Keywords: Heat treatment, Artificial aging, Holding time

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan teknik secara global dapat dibagi menjadi dua yaitu bahan logam dan bahan bukan logam. Bahan logam dapat dikelompokkan dalam dua kelompok yaitu logam besi (*fero*) dan logam bukan besi (*non fero*). Logam fero yaitu suatu logam paduan yang terdiri dari campuran unsure karbon dengan besi, misalnya besi tuang, besi tempa dan baja. Logam non fero yaitu logam yang tidak mengandung unsur besi (Fe) misalnya tembaga, aluminium, timah dan lainnya. Bahan bukan logam antara lain asbes, karet, plastik dan lainnya.

Untuk saat ini penggunaan logam fero seperti besi dan baja masih mendominasi dalam perencanaan-perencanaan mesin maupun dalam bidang konstruksi. Sedangkan penggunaan logam non fero yang terus meningkat dari tahun ke tahun yaitu logam aluminium (Smith, 1995 :400). Hal ini terlihat dari urutan penggunaan logam paduan aluminium yang menempati urutan kedua setelah penggunaan logam besi atau baja, dan diurutan pertama untuk logam *non fero* (Smith, 1995). Sekarang ini kebutuhan Indonesia pada aluminium per tahun mencapai 200.000 hingga 300.000 ton dengan harga US\$ 3.305 per ton (Noorsy, 2007).

Pemakaian aluminium khusus pada industri otomotif juga terus meningkat Sejak tahun 1980 (Budinski, 2001), dan terus meningkat seiring meningkatnya jumlah kendaraan bermotor di Indonesia. Banyak komponen otomotif yang terbuat dari paduan aluminium, diantaranya adalah piston, blok mesin, cylinder head, valve dan lain sebagainya. Penggunaan paduan aluminium untuk komponen otomotif dituntut memiliki kekuatan yang baik. Agar aluminium mempunyai kekuatan yang baik biasanya logam aluminium dipadukan dengan dengan unsur-unsur seperti: Cu, Si, Mg, Zn, Mn, Ni, dan sebagainya. Mengolah bijih aluminium menjadi logam aluminium (Al) memerlukan energi yang besar dan biaya yang mahal untuk mendapatkan logam aluminium masalah yang utama sebetulnya pada keterbatasan

bijih aluminium dialam, karena bijih aluminium merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui.

Salah satu usaha untuk mengatasi hal ini adalah dengan melakukan daur ulang. Karena keterbatasan yang ada seperti pada industri kecil, tidak semua menggunakan bahan baku murni, tetapi memanfaatkan aluminium sekrap atau reject material dari peleburan sebelumnya untuk dituang ulang (*remelting*). Dari hasil pengecoran industri kecil (pelek misalnya) pada saat digunakan mengalami beban berulang-ulang dan kadang-kadang beban kejut sehingga peralatan tersebut harus mendapatkan jaminan terhadap kerusakan akibat retak-lelah, sehingga aman dalam penggunaan atau bahkan mempunyai usia pakai (*life time*) lebih lama (Purnomo, 204:905)

Agar piston hasil daur ulang bisa digunakan dengan baik dan aman, maka perlu dilakukan *treatment* (perlakuan) untuk memperbaiki sifat aluminium piston hasil pengecoran ulang. Karena biasanya sifat dan kualitas piston hasil pengecoran ulang tidak bisa sama dengan piston dari bahan baku baru yaitu Al-Si. Pada penelitian ini, fokus masalah yang ingin dipelajari adalah perlakuan panas (*heat treatment*) pada paduan aluminium sebagai upaya meningkatkan sifat-sifat mekanis piston berbasis material 50% piston bekas.

1.2 Perumusan Masalah

Pada dasarnya aluminium merupakan logam paduan yang dapat didaur ulang melalui pengecoran. Sampai saat ini daur ulang aluminium hanya diterapkan pada industri-industri pengecoran kecil dan daur ulang yang dilakukan biasanya menghasilkan barang yang kualitasnya rendah, seperti untuk alat-alat rumah tangga. Sedangkan pada industri pengecoran besar lebih cenderung menggunakan bijih aluminium sebagai bahan utama. Padahal bijih aluminium merupakan bahan tambang yang persediannya terbatas.

Piston merupakan komponen penting dalam kendaraan bermotor, karena piston memegang peranan penting dalam proses pembakaran dalam ruang bakar.

Sehingga material untuk piston merupakan material dengan spesifikasi khusus dan biasanya digunakan bijih aluminium untuk membuat paduannya.

Agar penelitian dapat dilakukan secara terarah dan mengena sasaran yang ingin dicapai maka perumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- a. Pengaruh variasi temperatur dan waktu *artificial aging* pada proses *age hardening* paduan Al-Si terhadap tingkat kekerasan
- b. Pengaruh perlakuan panas terhadap perubahan struktur mikro paduan Al-Si
- c. Kekerasan dan karakteristik struktur mikro material piston berbasis material piston bekas yang setara dengan produk material piston original

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini tidak menyimpang dari permasalahan yang diteliti, maka peneliti membatasi permasalahannya hanya pada :

- a. Temperatur *artificial aging* dalam rentang suhu 100°C, 155°C, dan 200°C
- b. Waktu penahanan *artificial aging* 2 jam, 4 jam dan 5 jam
- c. Temperatur *solution treatment* dibatasi pada suhu 505°C
- d. Perbandingan komposisi material 50% ADC12 dengan 50% piston bekas

1.4 Originilitas Penelitian

Studi peningkatan sifat mekanis piston berbasis material piston bekas merupakan Penelitian lanjutan dan perbaikan dari penelitian-penelitian yang pernah dilakukan oleh antara lain :

Herman (2010) yang menggunakan komposisi paduan dan limbah piston bekas kapal dengan komposisi 12,1% Si, 0,3% Fe, 0,9 %Cu, 1,14 Mg, 2,23 Ni ,pada temperatur penguangan 760 °C. Setelah perlakuan panas angka kekerasan mampu meningkat menjadi 76,10 HRB dari yang sebelumnya 64,09 HRB.

Zerren (2008), yang menitik beratkan pada pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan dan struktur mikro dengan menggunakan paduan AlCu₄MgNi dan AlSiCuMgNi dengan variasi komposisi 10,5%, 12%, 18%, dan 24% Si. Setelah

perlakuan panas mampu meningkatkan kekerasan menjadi 120 BHN dari yang sebelumnya 80 BHN.

Wittaya (2008) dengan menggunakan paduan $Al_{12}Si-1,5Cu-Ni-Mg$, dengan memvariasikan *treatment* T5 dan T6, dimana pengaruh perlakuan panas mampu meningkatkan kekerasan hingga 60 persen dari sebelumnya. Tadayon saidi, dkk (2003), Jonathan (2003)

Anastasiou (2002) menggunakan parameter temperatur tuang $800^{\circ}C$, temperatur cetakan $350^{\circ}C$ dan tekanan 350 bar. Syrcos (2002) dan Tsoukalas dkk (2004) menggunakan parameter temperatur tuang $730^{\circ}C$, temperatur cetakan $270^{\circ}C$ dan tekanan 280 bar. Norwood dkk (2007) menggunakan parameter temperatur tuang $750^{\circ}C$ temperatur cetakan $180^{\circ}C$ dan tekanan 105 bar.

1.5 Tujuan penelitian

- a. Pengaruh variasi temperatur *artificial aging* pada proses *age hardening* terhadap perubahan tingkat kekerasan
- b. Pengaruh variasi waktu penahanan *artificial aging* pada *age hardening* terhadap perubahan tingkat kekerasan
- c. Mengoptimalkan tingkat kekerasan paduan Al-Si hasil proses *age hardening*
- d. Perubahan struktur mikro sebagai hasil proses *artificial aging*

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah :

- a. Dapat menjadikan masukan bagi pengembangan bidang ilmu teknologi material dan industri-industri pengecoran kecil maupun pengecoran besar dalam pembuatan piston berbasis material piston bekas yang kualitasnya sama dengan piston dari material yang baru yang memiliki daya tahan terhadap korosi, abrasi, koefisien pemuaian yang rendah, dan juga mempunyai kekuatan yang tinggi.

- b. Membantu dalam usaha mendapatkan tingkat kekerasan paduan aluminium yang sesuai kebutuhan melalui variasi temperatur *artificial aging* dan waktu penahanannya
- c. Membantu dalam usaha mendapatkan tingkat kekerasan serta mengetahui struktur mikro paduan aluminium yang sesuai kebutuhan melalui variasi temperature *aging*

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan Tesis ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi mengenai latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, originalitas penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tentang: Karakteristik piston, Paduan aluminium, Paduan aluminium sebagai bahan baku piston, Diagram Fasa Al-Si, Perlakuan Panas (*heat treatment*), (Tahap Perlakuan Panas Pelarutan) *solution heat treatment*, Tahap Pendinginan (*quenching*), Tahap Penuaan (*aging*), Proses *artificial aging*, waktu penahanan *artificial aging*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisikan tentang spesifikasi material penelitian yaitu material piston asli Daihatsu Hi-Jet 1000 dan material piston baru berbasis material piston bekas dengan berbagai komposisi penambahan ADC12, peralatan dan alat-alat yang digunakan dalam penelitian, Diagram Alir Penelitian, Variabel Penelitian dan Tahapan-tahapan dalam Penelitian.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi hasil dan pembahasan penelitian. Hasil dan pembahasan pada bab ini dikelompokkan menjadi : 1). Pembahasan material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang. 2). Hasil dan pembahasan kualitas material yang berasal dari 50% piston bekas. 3). Hasil dan pembahasan pengaruh temperatur *artificial aging* terhadap tingkat kekerasan. 4). Hasil dan pembahasan pengaruh waktu penahanan *artificial aging* terhadap tingkat kekerasan 5) Pembahasan tentang komparasi material piston baru berbasis material piston bekas dengan material piston asli Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini berisi kesimpulan yang merupakan jawaban dari tujuan dalam penelitian dan saran demi perbaikan penelitian berikutnya setelah menyimpulkan dari hasil analisa dan pembahasan.

DAFTAR PUSTAKA

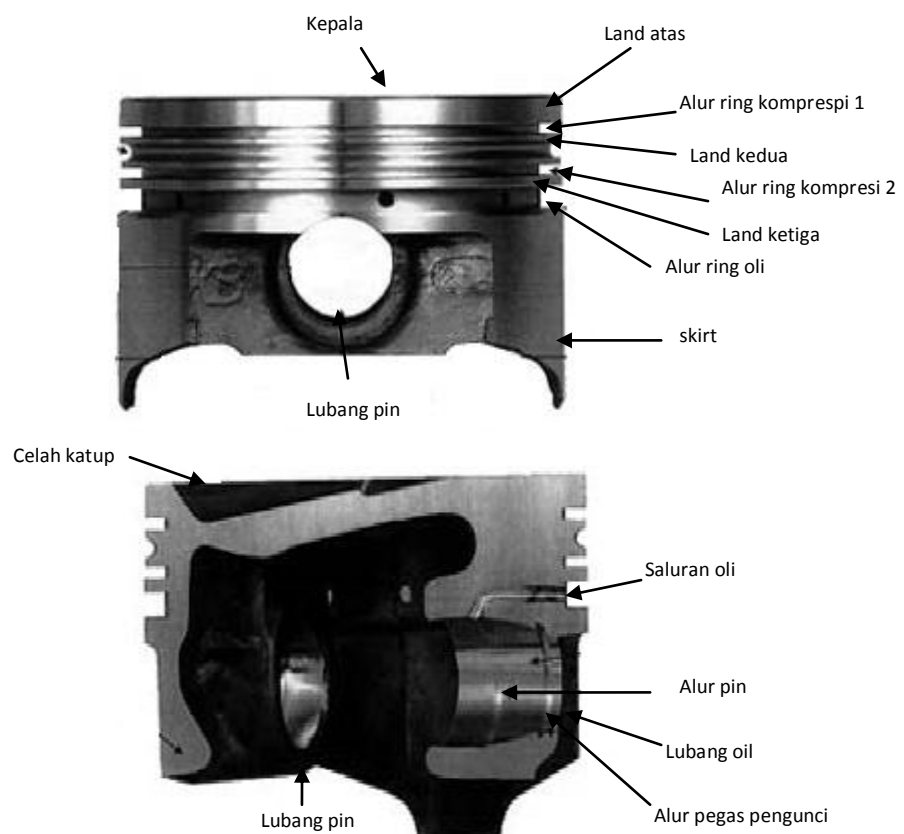
LAMPIRAN

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1. Karakteristik Piston

Piston yang dalam bahasa Indonesia dikenal dengan istilah torak adalah komponen penting dalam kendaraan bermotor, karena piston memegang peranan penting dalam proses pembakaran dalam ruang bakar. Sehingga material untuk piston merupakan material dengan spesifikasi khusus dan biasanya digunakan bijih alumunium untuk membuat paduannya. Komponen mesin ini dipegang oleh setang piston yang mendapatkan gerakan turun naik dari gerakan berputar cranksaft. Bentuk bagian piston dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Bagian-bagian piston

Piston bekerja tanpa henti selama mesin hidup. Komponen ini menerima temperatur dan tekanan tinggi sehingga mutlak harus memiliki daya tahan tinggi. Oleh karena itu, pabrikan kini lebih memilih paduan aluminium (Al-Si). Paduan ini diyakini mampu meradiasikan panas yang lebih efisien dibanding material lainnya. Karena paduan ini memiliki daya tahan terhadap korosi dan abrasi, koefisien pemuaian yang rendah, dan juga mempunyai kekuatan yang tinggi.

Sementara penyebab utama kerusakan komponen ini adalah ausnya piston yang disebabkan oleh kurang disiplinnya pemakai kendaraan dalam merawat kendaraan terutama dalam pengecekan oli mesin. Jika oli mesin dibawah standar volume yang harus dipenuhi maka piston akan mudah aus karena pelumasnya kurang.



Gambar 2.2 kerusakan piston

2.1.2 Paduan aluminium

Aluminium dipakai sebagai paduan berbagai logam murni, sebab tidak kehilangan sifat ringan, sifat – sifat mekanisnya, sifat mampu cornya yang dapat diperbaiki dengan menambah unsur–unsur lain. Unsur–unsur paduan itu adalah tembaga, silisium, magnesium, mangan, nikel, dan sebagainya yang dapat merubah sifat paduan aluminium. Macam–macam Unsur paduan aluminium dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

a. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. paduan Al-Si yang telah diperlakukan panas dinamakan *Silumin*. Sifat – sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Paduan Al-Si umumnya dipakai dengan 0,15% – 0,4%Mn dan 0,5 % Mg. Paduan yang diberi perlakuan pelarutan (*solution heat treatment*), *quenching*, dan *aging* dinamakan *silumin* γ , dan yang hanya mendapat perlakuan aging saja dinamakan *silumin* β . 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 motor. (Tata & Saito, 1992).

b. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg

Paduan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg serta dapat mengeras 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 *turner* yang berada dalam keseimbangan dengan Al, yang kemudian dinamakan senyawa S dan T. Ternyata senyawa S (Al_2CuMg) mempunyai kemampuan penuaan pada temperatur biasa. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg dipakai sebagai bahan dalam industri pesawat terbang (Tata & Saito, 1992).

c. Paduan Al-Mn

Mangan (Mn) adalah unsur yang memperkuat Alumunium 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 Al 3003 dan Al 3004 digunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas.

d. Paduan Al-Mg

Paduan dengan 2 – 3 % Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi, paduan Al 5052 adalah paduan yang biasa dipakai sebagai bahan tempaan. 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 (Tata & Saito, 1992).

e. Paduan Al-Mg-Si

Sebagai 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 (Tata & Saito, 1992).

f. Paduan Al-Mn-Zn

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 tidak terjadi. Pada saat itu paduan tersebut dinamakan *ESD* atau *duralumin super ekstra*. Selama perang dunia ke dua di Amerika serikat dengan maksud yang hampir sama telah dikembangkan pula suatu paduan yaitu suatu paduan yang terdiri dari: Al, 5,5 % Zn, 2,5 % Mn, 1,5% Cu, 0,3 % Cr, 0,2 % Mn 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 (Tata & Saito, 1992).

2.1.3 Paduan Aluminium Sebagai bahan Baku Piston

Aluminium adalah logam yang sangat ringan (berat jenis 2,56 atau 1/3 berat jenis tembaga), mempunyai tahanan jenis $2,8 \times 10^{-8}$ atau 1,25 x tahanan jenis tembaga. Sifat ketahanan tarik maksimum dalam keadaan dingin $17 \div 20 \text{ Kg/mm}^2$ (Sumanto, 1996). Material ini banyak dipergunakan dalam bidang yang sangat luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga banyak dipakai

untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan peralatan yang lainnya, hal ini disebabkan oleh sifat-sifat aluminium antara lain : Kekuatan besar, Ringan, Tahan korosi, Mudah dibentuk, Konduktivitas panas dan listrik yang tinggi.

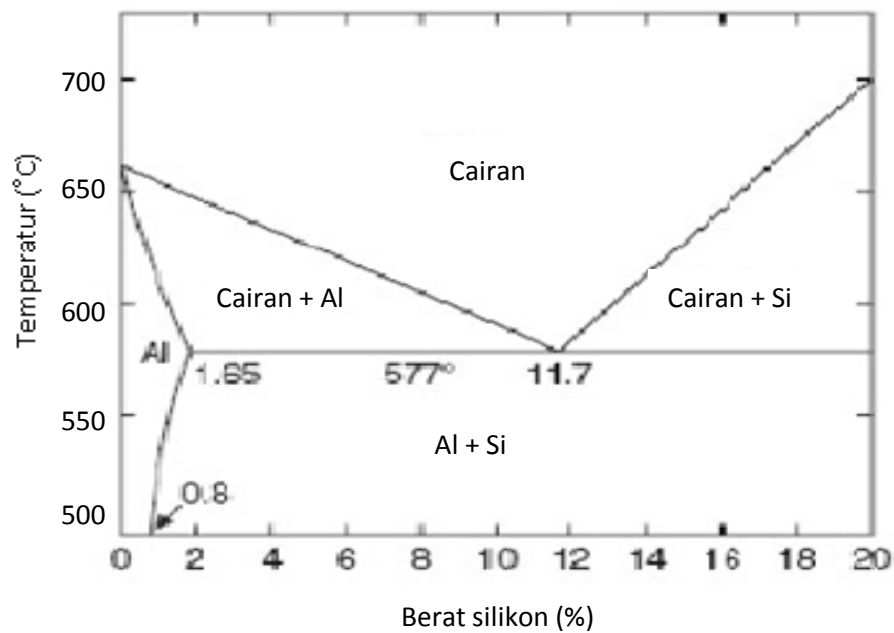
Namun dewasa ini, Penggunaan Al murni hanya terbatas pada aplikasi yang tidak terlalu mengutamakan faktor Kekuatan seperti penghantar panas dan listrik, perlengkapan bidang kimia, lembaran plat, dan sebagainya. Penggunaan Al untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut memerlukan penanganan tersendiri agar kekuatan aluminium dapat meningkat. Salah satu usaha yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kekuatan Al murni adalah dengan melakukan proses pengerasan regang atau dengan perlakuan panas (*heat treatment*), tetapi cara ini tidak senantiasa dapat menuakan bila tujuan utama adalah untuk menaikkan kekuatan material.

Pada perkembangan selanjutnya, peningkatan nyata dari kekuatan aluminium dapat dicapai dengan penambahan unsur-unsur paduan ke dalam aluminium. Unsur-unsur paduan tersebut dapat berupa tembaga, mangan, silisium, magnesium, seng dan lain-lain. Kekuatan aluminium paduan ini pun juga dapat ditingkatkan lagi dengan pengerasan regang atau dengan perlakuan panas (*heat treatment*).

Beberapa tahun ini paduan aluminium cenderung lebih banyak digunakan sebagai bahan baku beberapa komponen penting antara lain piston, blok silinder, katup, dan lain-lain. Dengan karakteristik semacam ini, penggunaan paduan Al sebagai bahan baku piston lebih banyak digunakan dibandingkan dengan bahan-bahan lainnya.

2.1.4 Diagram Fase Al-Si

Paduan Al-Si memiliki sifat mampu cor yang baik, tahan korosi, dapat diproses dengan permesinan dan dapat dilas. Diagram fasa dari Al-Si ditunjukkan pada Gambar 2.3, diagram ini digunakan sebagai pedoman umum untuk menganalisa perubahan fasa pada proses pengecoran paduan Al-Si.



Gambar 2.3 Diagram fasa Al-Si

Kandungan silikon pada diagram fase AL-Si ini terdiri dari 3 macam yaitu :

- a. *Hipoeutectic* 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.
- b. *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 ke padat*).
- c. *Hypereutectic* yaitu apabila komposisi silikon diatas 12.2 % sehingga kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan. Keberadaan struktur kristal silikon primer pada daerah ini mengakibatkan karakteristik yaitu:
 1. Ketahanan aus paduan meningkat.
 2. Ekspansi termal yang rendah.
 3. Memiliki ketahanan retak panas (*hot tearing*) 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).

2.1.5. Perlakuan panas

Perlakuan panas atau *heat treatment* adalah salah satu proses untuk mengubah struktur logam dengan jalan memanaskan specimen pada *electric terance* (tungku) pada temperatur rekristalisasi selama periode tertentu kemudian didinginkan pada media pendingin seperti udara, air, air faram, oli dan solar yang masing-masing mempunyai kerapatan pendinginan yang berbeda-beda. Sifat-sifat logam terutama sifat mekanik yang sangat dipengaruhi oleh struktur mikro logam disamping posisi kimianya, contoh suatu logam atau paduan akan mempunyai sifat mekanis yang berbeda-beda struktur mikronya diubah. Dengan adanya pemanasan atau pendinginan dengan kecepatan tertentu maka bahan-bahan logam dan paduan memperlihatkan perubahan strukturnya.

Perlakuan panas merupakan proses kombinasi antara proses pemanasan atau pendinginan dari suatu logam atau paduannya dalam keadaan padat untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu. Untuk mendapatkan hal ini maka kecepatan pendinginan dan batas temperatur sangat menentukan sehingga penentuan bahan logam yang tepat pada hakekatnya merupakan kesepakatan antara berbagai sifat, lingkungan dan cara penggunaan hingga sampai dimana sifat bahan logam tersebut dapat memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Sifat –sifat bahan logam perlu dikenal secara baik karena bahan logam tersebut dipakai pada berbagai kepentingan dan dalam keadaan sesuai dengan fungsinya. Tetapi terkadang sifat-sifat bahan logam ternyata kurang memenuhi persyaratan sesuai dengan fungsi dan kegunaannya. Sehingga diperlukan suatu usaha untuk dapat meningkatkan atau memperbaiki sifat-sifat logam. Sifat-sifat logam tersebut dapat ditingkatkan dengan salah satunya adalah perlakuan panas.

Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat dari logam dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur yang cocok, kemudian dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan ke temperatur yang lebih rendah dengan kecepatan yang sesuai. Tata Surdia dan Kenji Chijiwa

(1999). Salah satu cara perlakuan panas pada logam paduan aluminium adalah dengan penuaan keras (*age hardening*).

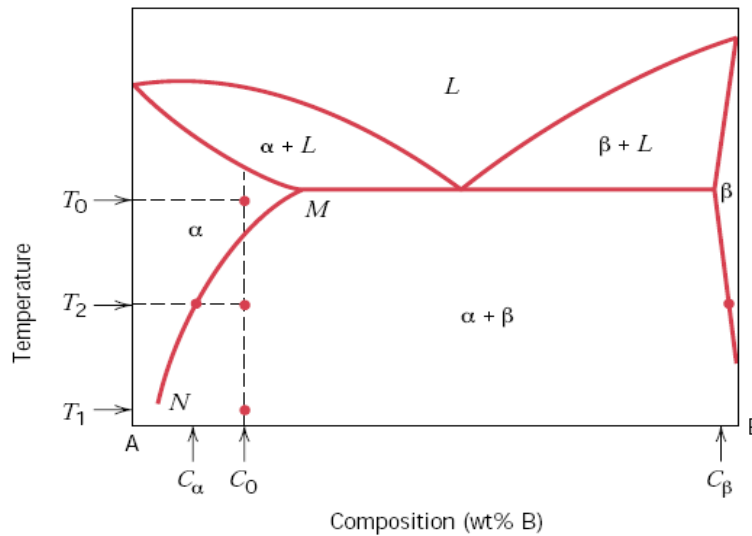
Melalui penuaan keras (*age hardening*), logam paduan aluminium akan memperoleh kekuatan dan kekerasan yang lebih baik. Dahulu orang menyebut penuaan keras (*age hardening*) dengan sebutan pemuliaan atau penemperan keras. Penamaan tersebut kemudian dibakukan menjadi penuaan keras (*age hardening*) karena penemperan keras pada logam paduan aluminium berbeda dengan penemperan keras yang berlangsung pada penemperan keras baja.

Paduan aluminium yang dapat dituakeraskan atau di *age hardening* dibedakan atas paduan aluminium yang dapat dituakeraskan dalam keadaan dingin dan paduan aluminium yang dapat dituakeraskan dalam keadaan panas. Penuaan keras (*age hardening*) berlangsung dalam tiga tahap yaitu:

a. Tahap perlakuan panas pelarutan (*solution heat treatment*)

Tahap pertama dalam proses *age hardening* yaitu *solution heat treatment* atau perlakuan panas pelarutan. *Solution heat treatment* yaitu pemanasan logam aluminium dalam dapur pemanas dengan temperatur 550°C-560°C dan dilakukan penahanan atau *holding* sesuai dengan jenis dan ukuran benda kerja (Schonmetz, 1990). Pada tahap *solution heat treatment* terjadi pelarutan fasa-fasa yang ada, menjadi larutan padat. Tujuan dari *solution heat treatment* itu sendiri yaitu untuk mendapatkan larutan padat yang mendekati homogen.

Proses *solution heat treatment* dapat dijelaskan dalam gambar 2.4 dimana logam paduan aluminium pertama kali dipanaskan dalam dapur pemanas hingga mencapai temperatur T1. Pada temperatur T1 fase logam paduan aluminium akan berupa kristal campuran α dalam larutan padat. Pada temperatur T1 tersebut pemanasan ditahan beberapa saat agar didapat larutan padat yang mendekati homogen.



Gambar 2.4. Diagram fase pemanasan logam paduan

b. Tahap Pengejutan / Pendinginan (*Quenching*)

Quenching merupakan tahap yang paling kritis dalam proses perlakuan panas. *Quenching* dilakukan dengan cara mendinginkan logam yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin. Dalam proses *age hardening* logam yang diquenching adalah logam paduan aluminium yang telah dipanaskan dalam dapur pemanas kedalam media pendingin air. Dipilihnya air sebagai media pendingin pada proses *quenching* karena air merupakan media pendingin yang cocok untuk logam-logam yang memiliki tingkat kekerasan atau hardenabiliti yang relatif rendah seperti logam paduan aluminium.

Pendingin dilakukan secara cepat, dari temperatur pemanas (505°C) ke temperatur yang lebih rendah, pada umumnya mendekati temperatur ruang. Tujuan dilakukan *quenching* adalah agar larutan padat homogen yang terbentuk pada *solution heat treatment* dan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya.

Pada tahap *quenching* akan menghasilkan larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*) yang merupakan fasa tidak stabil pada temperatur biasa atau temperatur ruang. Pada proses *quenching* tidak hanya menyebabkan atom terlarut tetap ada dalam larutan, namun juga menyebabkan jumlah kekosongan atom tetap besar. Adanya kekosongan atom dalam jumlah

besar dapat membantu proses difusi atom pada temperatur ruang untuk membentuk *zona Guinier - Preston* (Zona GP). *Zona Guinier - Preston* (Zona GP) adalah kondisi didalam paduan dimana terdapat *agregasi* atom padat atau pengelompokan atom padat. (Tata Surdia dan Shinroku Saito, 1992).

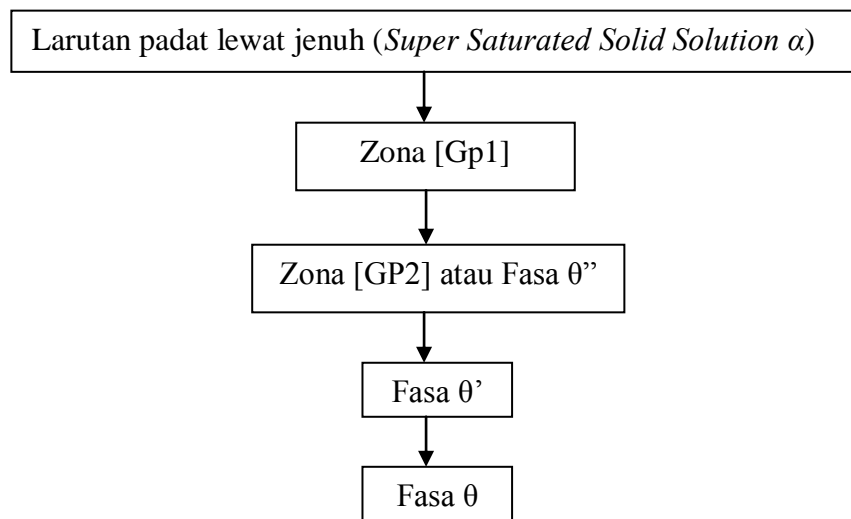
c. Tahap Penuaan (*Aging*).

Setelah *solution heat treatment* dan *quenching* tahap selanjutnya dalam proses *age hardening* adalah *aging* atau penuaan. Perubahan sifat-sifat dengan berjalanya waktu pada umumnya dinamakan *aging* atau penuaan. *Aging* atau penuaan pada paduan aluminium dibedakan menjadi dua, yaitu penuaan alami (*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 tahap *artificial aging* dalam proses *age hardening* dapat dilakukan beberapa variasi perlakuan yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening*. Salah satu variasi tersebut adalah variasi temperatur *artificial aging*. Temperatur *artificial aging* dapat ditetapkan pada temperatur saat pengkristalan paduan aluminium (150°C), di bawah temperatur pengkristalan atau di atas temperatur pengkristalan logam paduan aluminium.(Schonmetz,1990). Penuaan buatan (*artificial aging*) berlangsung pada suhu antara 100°C - 200°C.

Pengambilan temperatur *artificial aging* pada temperatur antara 100°C - 200°C akan berpengaruh pada tingkat kekerasan sebab pada proses *artificial aging* akan terjadi perubahan-perubahan fasa atau struktur. Perubahan fasa tersebut akan memberikan sumbangan terhadap pengerasan. Urut-urutan perubahan fasa dalam proses *artificial aging* adalah sebagai berikut:



a. Larutan Padat Lewat Jenuh (*Super Saturated Solid Solution* α)

Setelah paduan aluminium melawati tahap *solution heat treatment* dan *quenching* maka akan didapatkan larutan padat lewat jenuh pada temperatur kamar. Pada kondisi ini secara simultan kekosongan atom dalam keseimbangan termal pada temperatur tinggi tetap pada tempatnya. Setelah pendinginan atau *quenching*, maka logam paduan aluminium menjadi lunak jika dibandingkan dengan kondisi awalnya.

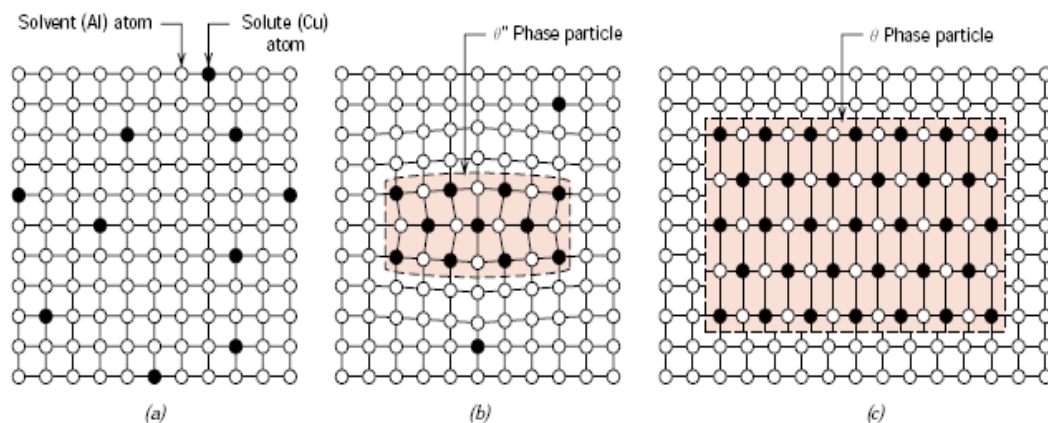
b. Zona [GP 1]

Zona [GP 1] adalah zona presipitasi yang terbentuk oleh temperatur penuaan atau *aging* yang rendah dan dibentuk oleh *segregasi* atom Cu dalam larutan padat lewat jenuh atau *super saturated solid solution* α . (Smith, 1995)

Zona [GP 1] akan muncul pada tahap mula atau awal dari proses *artificial aging*. Zona ini terbentuk ketika temperatur *artificial aging* dibawah 100°C atau mulai temperatur ruang hingga temperatur 100°C dan Zona [GP 1] tidak akan terbentuk pada temperatur *artificial aging* yang terlalu tinggi. Terbentuknya Zona [GP 1] akan mulai dapat meningkatkan kekerasan logam paduan aluminium (Smith, 1995). Jika *artificial aging* ditetapkan pada temperatur 100°C , maka tahap perubahan fasa hanya sampai terbentuknya zona [GP 1] saja. Proses pengerasan dari larutan padat lewat jenuh sampai terbentuknya zona [GP 1] biasa disebut dengan pengerasan tahap pertama.

c. Zona [GP 2] atau Fasa θ''

Setelah temperatur *artificial aging* melewati 100°C ke atas, maka akan mulai muncul fasa θ'' atau zona [GP 2]. Pada temperatur 130°C akan terbentuk zona [GP2] dan apabila waktu penahanan *artificial aging*nya terpenuhi maka akan didapatkan tingkat kekerasan yang optimal (Smith, 1995). Biasanya proses *artificial aging* berhenti ketika sampai terbentuknya zona [GP 2] dan terbentuknya fasa antara yang halus (presipitasi θ''), karena setelah melewati zona [GP 2] maka paduan akan kembali menjadi lunak kembali. Jika proses *artificial aging* berlangsung sampai terbentuknya fasa θ'' atau zona [GP 2], maka disebut dengan pengerasan tahap kedua. Gambar 2.5. menunjukkan terbentuknya kembali fasa keseimbangan pada proses *aging* aluminium-tembaga (Al-Cu) sehingga paduan akan kembali ke fasa awal yaitu θ .



Gambar 2.5. (a) *supersaturated solute solution*, (b) fasa θ'' mulai terbentuk *precipitate (Al-Cu)*, (c) fasa keseimbangan θ Al-Cu

d. Fasa θ'

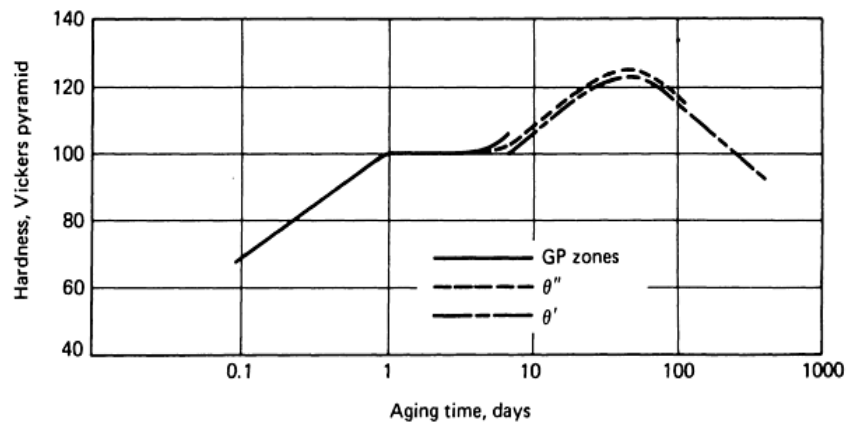
Kalau paduan aluminium dinaikkan temperatur *aging* atau waktu *aging* diperpanjang tetapi temperaturnya tetap, maka akan terbentuk presipitasi dengan struktur kristal yang teratur yang berbeda dengan fasa θ . Fasa ini dinamakan fasa antara atau fasa θ' . Terbentuknya fasa θ' ini masih dapat memberikan sumbangan terhadap peningkatan kekerasan pada paduan aluminium. Peningkatan kekerasan yang terjadi pada fasa θ' ini berjalan sangat lambat.

e. Fasa θ

Apabila temperatur dinaikan atau waktu penuaan diperpanjang, maka fasa θ' berubah menjadi fasa θ . Jika fasa θ terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium kembali menjadi lunak.

Sementara waktu penahanan dalam *artificial aging* merupakan salah satu komponen yang dapat mempengaruhi hasil dari proses *age hardening* secara keseluruhan. Seperti halnya temperatur, waktu penahanan pada tahap *artificial aging* akan mempengaruhi perubahan struktur atau perubahan fasa paduan aluminium. Sehingga pemilihan waktu penahan *artificial aging* harus dilakukan dengan hati-hati.

Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan paduan aluminium diawali oleh proses perubahan fasa yang terbentuk pada proses *precipitation hardening* dimana fasa berawal dari *supersaturated solute solution*, setelah proses *quenching*. Kemudian paduan akan mengalami penuaan atau munculnya presipitat baru seiring bertambahnya waktu, Hubungan antara waktu (*aging*) dengan kekerasan dapat dilihat pada gambar 3.6



Gambar 3.6. Hubungan Antara Lamanya Waktu (*aging*) Dengan Kekuatan dan Kekerasan Paduan Aluminium (Smith, 1995).

Dalam kurva penuaan tersebut, pada awal-awal tahap *artificial aging* struktur atau fasanya masih berupa larutan padat lewat jenuh (*Super Saturated Solid Solution*). Seiring dengan penambahan waktu penuaan atau ketika penuaan sampai di daerah *under aged*, maka mulai terbentuk zona presipitat zona [GP 1]

dan paduan aluminium menjadi agak kuat dan keras. Ketika waktu *aging* ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *peak aged*. Pada daerah *peak aged* presipitat mengumpul atau mulai terbentuk zona [GP 2] dan fasa antara yang halus (fasa θ'). Jika fasa-fasa tersebut mulai terbentuk maka akan didapatkan tingkat kekerasan dan kekuatan logam paduan aluminium yang optimal. Apabila setelah mencapai *peak aged* (puncak penuaan) waktu *artificial aging* masih ditambah lagi maka akan masuk dalam daerah *over aged*. Pada daerah *over aged* ini akan didapatkan fasa θ , jika fasa θ ini terbentuk maka akan menyebabkan paduan aluminium menjadi lunak kembali dan berkurang kekerasannya (Smith, 1995).

2.2 Penelitian Yang Relevan

Penelitian tentang Perlakuan Panas aluminium piston telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, antara lain: Zulfia (2006), Telah melakukan penelitian tentang pengaruh suhu pemanasan dan waktu tahan terhadap karakterisasi material komposit Al/SiC hasil infiltrasi tanpa tekanan, yang menyimpulkan bahwa lamanya waktu tahan dan meningkatnya suhu pemanasan menghasilkan sifat mekanis yang lebih baik dari komposit logam Al/SiC dan ditemukan bahwa kondisi optimum untuk mendapatkan sifat mekanis yang baik adalah pada kondisi waktu tahan 10 jam.

Soejono,dkk (2002), Penelitian tentang pengaruh tekanan dan temperatur *die* proses *squeeze casting* terhadap kekerasan dan struktur mikro pada material piston komersial bekas, yang dapat memperbaiki kekerasan sebesar 5,29% setelah dilakukan perlakuan panas T6.

Zeren,(2008), *Pengaruh heat treatment pada* paduan aluminium bahan baku piston, temperatur *solution treatment* 500°C ($\pm 10^\circ\text{C}$) waktu tahan 5 jam, dilanjutkan perlakuan *aging* dengan temperatur 180°C ($\pm 10^\circ\text{C}$) waktu tahan 9 jam mampu menaikkan angka kekerasannya hingga 65%.

Wittaya, (2008), Pengaruh *solution treatment* pada mikrostruktur dan sifat-sifat mekanik paduan Al₁₂Si-1,5Cu-Ni-Mg dengan memvariasikan perlakuan T5 dan T6 dengan kekerasan 96 dan 106 HB. Chiang (2009), Pengaruh kekerasan

pada *precipitation hardening* pada paduan aluminium A.6061 dengan perlakuan T6 dengan angka kekerasannya hingga mencapai 121 HV pada temperatur aging 185°C, Tan Fai, (2009), Pengaruh *Precipitation* pada proses perlakuan panas terhadap kekuatan mekanik paduan aluminium A.6061-T6 dengan temperatur aging 195°C angka kekerasannya 195 HV pada, Wierzbinska dkk (2008), penelitian tentang indentifikasi komposisi mikrostruktur paduan AlSi5Cu2Mg-T6.

Arino, dkk (2006), Peningkatan sifat mekanik A356.0 dengan komposisi kimia 92,3% Al, 7,0% Si, 0,12% Fe, 0,10% Cu, 0,05% Mn, 0,21% Mg, 0,05% Zn dan 0,20% Ti dengan jenis perlakuan T-6 hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kekerasan tertinggi yang dapat dicapai adalah sebesar 75 HRB yaitu ketika di beri perlakuan panas dengan temperatur tahan 200°C dan dengan waktu tahan 4 jam.

Ramli (2000), Perlakuan aging pada temperatur 210°C paduan aluminium A6061 nilai kekerasan maksimum terjadi pada waktu aging 4 jam dengan kenaikan rata-rata 4%.

Zainul (2009), *Precipitation strengtehening* dan *age hardening* pada paduan 2017 untuk aplikasi aerospace, Haizi (2002) penelitian yang hampir sama namun menitik beratkan pada fatik material pada paduan Al-Si untuk aplikasi mesin, Polmear.IJ (2004), precipitasi dan proses *age hardening* pada paduan aluminium A.2017-T4, Moller Hein (2008) perlakuan panas paduan aluminium A.357 –T5

Penelitian Park dkk, (2001) membuat piston dengan cara serbuk yang sudah disinter pada suhu 580°C selama 25 menit menghasilkan piston dengan kekerasan sebesar 77,5 HRB. Penelitian Duskiardi dkk, (2002) melebur bahan pada suhu 700°C yang dituangkan pada cetakan yang dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 400°C dan dilakukan squeeze casting dan ditreatment menghasilkan piston dengan kekerasan sebesar 115 BHN. Penelitian Choi dkk, (2005) menghasilkan piston dengan kekerasan sebesar 52 HRB.

Bondan dkk (2008) kekerasan puncak tertinggi dicapai oleh paduan A319 dengan 0,1 dan 9 wt% Zn pada proses aging dengan temperatur 200°C selama 6 jam, dimana kekerasan meningkat sebesar 8,76% dari kondisi *as-cast*.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Material Penelitian

3.1.1 Piston asli buatan Jepang

Tujuannya adalah untuk mendapatkan data yang relevan dengan tuntutan piston pada mesin, dipilihnya piston asli buatan Jepang (Gambar 3.1), juga berfungsi untuk keperluan identifikasi angka kekerasan dan struktur mikro sebagai pembanding dari angka kekerasan dan struktur mikro piston baru berbasis material piston bekas sebelum dilakukan perlakuan panas sekaligus sebagai jawaban seberapa besar persentase peningkatan kekerasan setelah dilakukan perlakuan panas.



Gambar 3.1 Piston asli buatan Jepang

3.1.2 Piston baru berbasis material piston bekas

Tujuannya untuk mendapatkan data yang relevan perihal sifat-sifat mekanis piston baru berbasis material piston bekas sebelum di *treatment* dari berbagai komposisi material yaitu sebagai berikut :

- a. 100% Piston bekas dan 0% ADC 12
- b. 75% piston bekas dan 25% ADC 12
- c. 50% piston bekas dan 50% ADC 12
- d. 25% piston bekas dan 75% ADC 12
- e. 0% piston bekas dan 100% ADC 12



Gambar 3.2 Pengambilan specimen material piston baru berbasis Material piston bekas dari berbagai komposisi material

3.2. Peralatan Penelitian

3.2.1 Furnace Chamber

Furnace Chamber adalah perangkat yang berfungsi untuk melakukan perlakuan panas specimen Piston baru berbasis material piston bekas, dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Merk Hofman/ Tipe K-L

- Temperatur alat 20°C - 900°C
- Waktu mulai penundaan 0 – 9999 menit
- Milik Lab. Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro (Gambar 3.3)



Gambar 3.3 Furnace Chamber

3.2.2 Alat uji kekerasan

Alat uji kekerasan yang digunakan adalah *Rockwell Hardness Tester*. Pengujian kekerasan bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda uji (dapat berupa bola baja atau kerucut diamon) yang ditekan terhadap permukaan material uji (Gambar 3.4).



Gambar 3.4 *Rockwell Hardness Tester*

3.2.3 Alat uji struktur mikro

Untuk melihat struktur mikro yang terjadi dilihat dengan alat Mikroskop Olympus BX 416 (Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Mikroskop Olympus BX 416

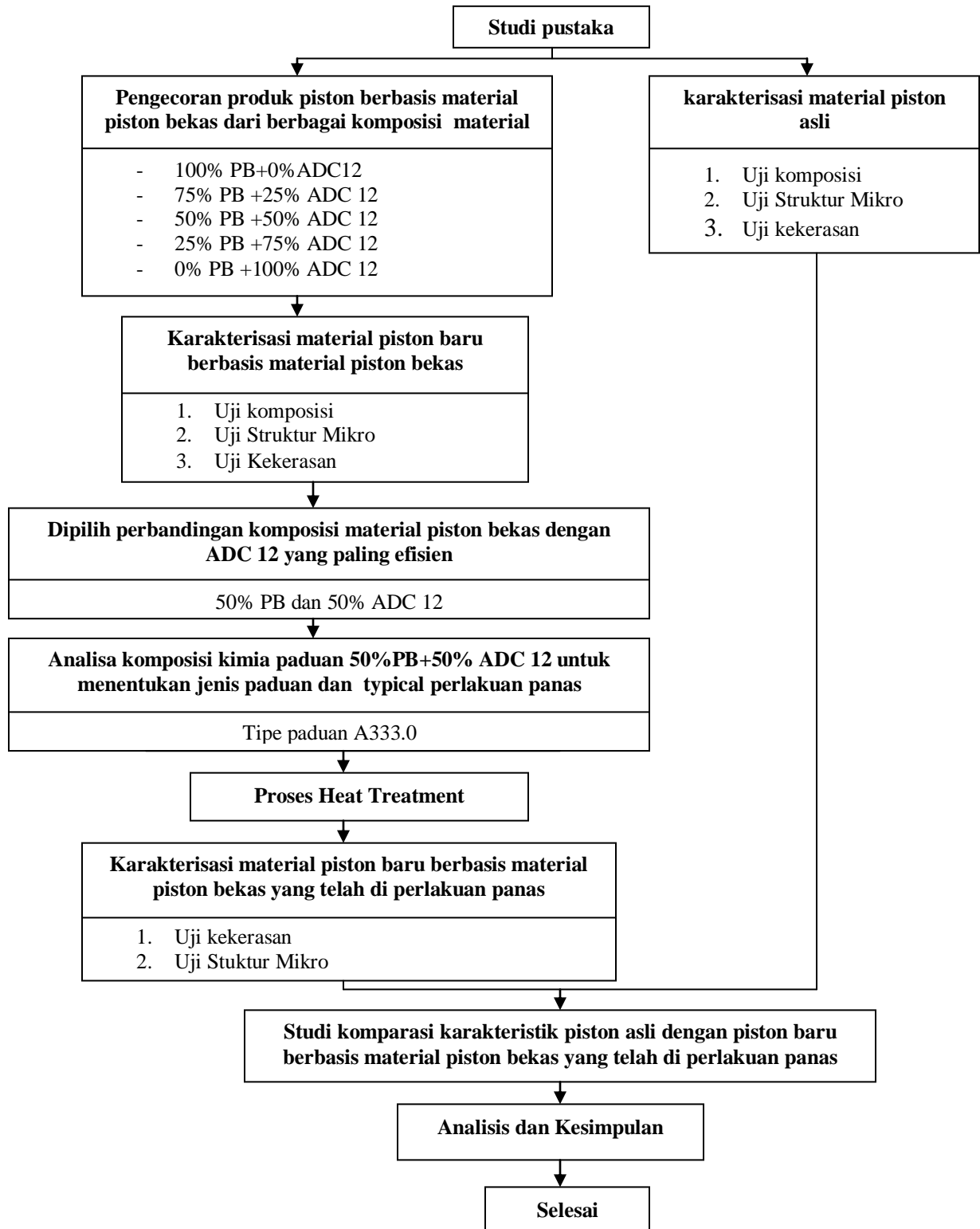
3.2.4 Alat Pemanggang

Alat pemanggang adalah perangkat yang digunakan untuk melakukan *artificial aging*. Perangkat ini berupa *electric oven* yang dilengkapi dengan pengatur panas dan pengatur waktu (Gambar 3.6)



Gambar 3.6 Electric oven

3.3 Diagram Alir Penelitian



3.4 Tahapan Penelitian

a. Tahap I: Studi sifat-sifat mekanis material piston asli buatan Jepang

Data dari hasil sifat-sifat mekanis material piston asli diperoleh hasil yaitu struktur mikro, komposisi kimia dan kekerasan yang selanjutnya dianalisis dengan metode deskriptif analisis.

b. Tahap II: Studi sifat-sifat mekanis material piston baru berbasis material piston bekas

Data dari hasil sifat-sifat mekanis material piston baru berbasis material piston bekas dari berbagai jenis komposisi material diperoleh hasil yaitu struktur mikro, komposisi kimia dan kekerasan yang selanjutnya dianalisis dengan metode deskriptif analisis. Dapat disajikan pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Diskripsi pengambialan data sifat-sifat mekanis piston baru berbasis material piston bekas

Temperatur Penuangan Variasi penambahan ADC 12	700 °C	750 °C	800 °C
100% piston bekas	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan
25 % piston bekas + 70% ADC 12	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan
50 % piston bekas + 50 ADC 12	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan
75 % piston bekas + 25 % ADC 12	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan
100% ADC 12	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan

c. Tahap III: Pemilihan perbandingan komposisi material piston bekas dan ADC 12 yang paling efisien

Tujuannya adalah studi jenis kelompok paduan material tersebut berikut jenis perlakuannya. Alasan dipilihnya material dengan komposisi yang paling efisien didasarkan pada :

1. Nilai ekonomis yaitu persentasi komposisi bahan piston bekasnya yang paling maksimal.
2. Angka kekerasannya yang paling tinggi
3. Komposisi kimia masih dalam standar komposisi kimia paduan piston aluminium
4. Struktur mikro yang paling bagus diantara struktur mikro komposisi yang lain

Atas dasar tersebut maka hipotesa awal komposisi material yang paling efisien adalah komposisi material 50% piston bekas dan 50% ADC 12 dengan angka kekerasan seperti pada Tabel 3.2

Tabel 3.2 Angka kekerasan material piston 50% Piston bekas + 50 % ADC 12
(Hasil uji kekerasan UNDIP Semarang)

Temperatur Penuangan				
Variasi penambahan ADC 12	700 °C	750 °C	800 °C	Rata-rata
50 % piston bekas + 50% ADC 12	54,6	50,6	54,4	53,2

d. Tahap IV: Penentuan jenis paduan aluminium

Dari hasil uji komposisi (Tabel 3.3) diperoleh hasil jenis paduan aluminium 50% piston bekas dan 50% ADC 12

Tabel 3.3 Komposisi material piston 50% piston bekas +50% ADC 12
(Hasil uji komposisi POLMAN Ceper)

paduan	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Sn	Ti
50% PB +50% ADC 12	86,52	8,6	0,897	1,19	0,225	0,767	0,047	1,05	0,022	0,053

e. Tahap V: Penentuan jenis paduan aluminium

Dari hasil uji komposisi (Tabel 3.3) diperoleh hasil jenis paduan aluminium 50% piston bekas dan 50% ADC 12 adalah jenis A.333.0 yang komposisi kimianya seperti dalam Tabel 3.4

Tabel 3.4 Komposisi kimia paduan A333.0 (ASM vol.4)

Alloy	Prod	Composition(%)											
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Others	
												Each	Total
333.0	P	8,0-10,0	1,0	3,0-4,0	0,5	0,05-0,50	-	0,50	1,0	-	0,25	-	0,50

f. Tahap VI: Menentukan Jenis perlakuan paduan A.333.0

Table 3.4 Tipe perlakuan panas paduan aluminium A.333.0 (ASM vol.4)

Allos	Temper	Type of casting	Solution treatment			Aging treatment		
			Temperatur		Time (h)	Temperatur		Time (h)
			°C	°F		°C	°F	
333.0	T6	p	505	960	12	155	310	2-5

g. Tahap VII: Proses Perlakuan Panas

Tahap perlakuan panas terdiri dari berbagai proses yaitu :

1. Proses *solution heat treatment* yaitu memanaskan specimen pada temperatur 505°C dengan waktu tahan 12 jam (ASM vol. 4)
2. Proses *Quenching* yaitu mendinginkan dengan cepat specimen yang telah dipanaskan. Media yang digunakan untuk *quenching* adalah air dengan temperatur 65-100°C selama 10 – 20 detik (ASM vol.4)
3. Proses *Aging* yaitu memanaskan kembali specimen dengan memvariasikan temperatur (100°C, 155°C dan 200°C) serta waktu tahan yang bervariasi yaitu 2, 4 serta 5 jam. Variasi temperatur aging dan waktu tahan seperti dalam Table 3.6
4. Proses pendinginan udara specimen yang telah di *aging*

Tabel 3.6 Variasi temperatur aging dan waktu tahan

Temperatur Penuangan	700°C			750°C			800°C		
Temp. Art. °C									
Art. Aging Time (jam)	100	155	200	100	155	200	100	155	200
2									
4									
5									

h. Tahap VIII: Karakterisasi material piston baru berbasis material piston bekas yang telah perlakuan panas

Tujuan dari karakterisasi material piston baru berbasis material piston bekas yang telah di perlakuan panas adalah mengetahui karakter material yang telah mengalami perlakuan panas dengan pengujian kekerasan dan sruktur mikro.

i. Tahap IX: Studi komparasi karakteristik piston asli dengan piston baru berbasis material piston bekas yang telah perlakuan panas

Pada tahap ini dilakukan studi perbandingan karakteristik piston asli dengan piston baru berbasis material piston bekas yang telah perlakuan panas berdasarkan pada parameter-parameter seperti pada Tabel 3.7 berikut ini :

Tabel 3.7 Studi komparasi karakteristik piston asli buatan Jepang dengan piston baru berbasis material piston bekas yang telah perlakuan panas.

Parameter	Piston asli Buatan Jepang	Piston baru berbasis material piston bekas yang telah perlakuan panas
Uji Komposisi	X	X
Uji Struktur Mikro	X	X
Uji Kekerasan	X	X

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan beberapa hasil dan pembahasan tentang studi peningkatan sifat mekanik hasil pengecoran ulang limbah piston menjadi material piston melalui perlakuan panas.

4.1 Studi Karakterisasi Material Piston Asli

Usaha awal yang dilakukan dalam rangka studi pemanfaatan piston bekas menjadi material piston adalah dengan melakukan studi karakterisasi piston asli. Data – data yang diperoleh dari studi karakterisasi material piston asli tersebut selanjutnya digunakan sebagai bahan acuan dalam membuat piston baru dengan material limbah piston bekas. Hasil yang diperoleh dari studi karakterisasi material piston original adalah sebagai berikut ini:

4.1.1 Kekerasan material piston asli

Hasil pengujian kekerasan material piston asli didapatkan hasil seperti pada Tabel 4.1 berikut ini. Dari uji kekerasan material piston asli didapatkan harga kekerasan sebesar 76 HRB.

Tabel 4.1 Nilai Pengujian Kekerasan *Rockwell* B material piston asli

No	Nilai Kekerasan HRB	$(HR - \overline{HR})^2$
1	76,50	0,25
2	75,00	1
3	78,00	4
4	74,00	4
5	76,50	0,25
Total	$\overline{HR}=76,0$	9,5

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum [HR - \overline{HR}]^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{9,5}{5(5-1)}} = 0,475$$

$$\text{HRB} = 76 \pm 0,475$$

$$\begin{aligned} \text{Ralat Nisbi} &= \left(\frac{\delta \overline{HR}}{\overline{HR}} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{0,475}{76} \right) \times 100\% = 0,625 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keseksamaan} &= \left(1 - \frac{\delta \overline{HR}}{\overline{HR}} \right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{0,475}{76} \right) \times 100\% \\ &= 99,3,75\% \end{aligned}$$

4.1.2 Komposisi material piston asli

Hasil uji komposisi menunjukkan bahwa material piston asli mempunyai paduan unsur utama 84,19 % Al dan 10,7% Si . Adapun hasil lengkap pengujian komposisi material piston asli disajikan pada Tabel 4.2 dan Lampiran.

Tabel 4.2 Hasil uji komposisi material piston asli

Unsur	Prosentase	Deviasi	Unsur	Prosentase	Deviasi
Al	84,19	0,8298	Zn	0,00	0,00
Si	10,7	0,807	Sn	0,016	0,00
Fe	0,465	0,0504	Ti	0,0784	0,0049
Cu	0,981	0,0830	Pb	0,0007	0,000
Mn	0,0410	0,0057	Be	0,00	0,000
Mg	1,15	0,136	Ca	0,0162	0,0026
Cr	0,0318	0,0039	Sr	0,000	0,000
Ni	2,29	0,238	V	0,0070	0,000

Berdasarkan pada komposisi paduan, material piston original dapat dikelompokkan kedalam paduan aluminium A. 333.0 (ASM Volume 15: 1992) atau AC8B (JIS HS202-1986). Dimana paduan aluminium A.333.0 dan AC8B

mempunyai komposisi kimia dan sifat mekanis sebagai berikut (Tabel 4.3) , (Tabel 4.4) dan (Tabel 4.5)

Tabel 4.3 Komposisi paduan A.333.0

Paduan	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	Lain-lain
AA. 333.0	8-10	1,0	3-4	0,5	0,05-0,5	-	0,5	3	-	0,25	0.078

Tabel 4.4 Komposisi kimia AC8B (JIS HS202-1986)

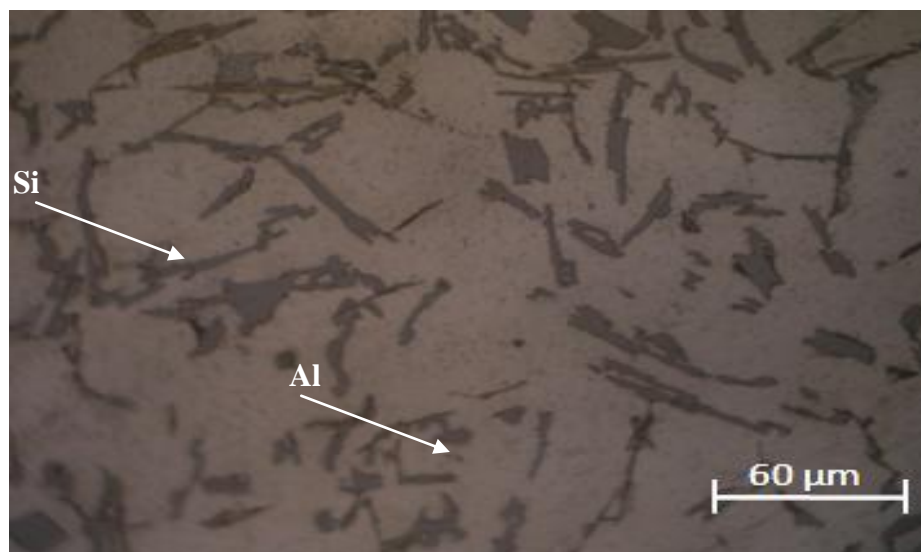
Alloy	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti
AC8B	2,0-4,0	8,5~10,5	0,5~1,5	<0,5	<1,0	<0,5	0,5~1,5	<0,2

Tabel 4.5 Sifat mekanik paduan A.333.0

Alloy	Temper	Ultimate tensile strength		0.2% offset yield strength		Elongation in 50mm (2in),%	Hardness	
		MPa	ksi	Mpa	ksi		(HB)	(HRB)
333.0	T6	290	42	207	30	1,5	105	67

4.1.3 Struktur mikro material piston original

Hasil pengujian struktur mikro pada material piston asli (Gambar 4.1) menunjukkan bahwa unsur Si berbentuk serpihan memanjang dan tersebar merata.



Gambar 4.1 Struktur mikro material piston original dengan perbesaran mikroskop 1000X.

4.2 Identifikasi material piston berbasis material Piston Bekas

Pada tahapan ini, untuk mengetahui kualitas material hasil peleburan piston bekas, dilakukan 2x peleburan. Piston bekas yang digunakan adalah piston bekas kendaraan bensin dari bermacam – macam merek. Setelah dilakukan pengecoran terhadap limbah material piston kemudian dilakukan pengujian kekerasan, komposisi dan struktur mikro. Hasil pengujian tersebut adalah sebagai berikut ini:

4.2.1 Hasil pengujian kekerasan hasil pengecoran material piston bekas

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Kekerasan pengecoran ulang material piston bekas (HRB)

No	PENGECORAN I		PENGECORAN II	
	Nilai Kekerasan HRB	$(HR - \overline{HR})^2$	Nilai Kekerasan HRB	$(HR - \overline{HR})^2$
1	53,00	6,76	50,00	0,01
2	48,50	3,61	46,50	10,89
3	50,00	0,16	51,00	1,21
4	51,00	0,36	48,00	3,61
5	49,50	0,90	54,00	16,81
Total	$\overline{HR}=50,4$	11,79	$\overline{HR}=49,9$	32,53

➤ Pengecoran I

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum[HR - \overline{HR}]^2}{n(n-1)}}$$

$$= \sqrt{\frac{11,79}{5(5-1)}} = 0,77$$

$$HRB = 50,4 \pm 0,77$$

$$\text{Ralat Nisbi} = \left(\frac{\delta \overline{HR}}{\overline{HR}} \right) \times 100\%$$

$$= \left(\frac{0,77}{50,4} \right) \times 100\% = 1,523$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keseksamaan} &= \left(1 - \frac{\delta \overline{HR}}{\overline{HR}}\right) \times 100\% \\
 &= \left(1 - \frac{0,77}{50,4}\right) \times 100\% \\
 &= 98,47\%
 \end{aligned}$$

➤ **Pengecoran II**

$$\begin{aligned}
 \delta &= \sqrt{\frac{\sum[HR - \overline{HR}]^2}{n(n-1)}} \\
 &= \sqrt{\frac{32,53}{5(5-1)}} = 1,63
 \end{aligned}$$

$$\text{HRB} = 49,9 \pm 1,63$$

$$\begin{aligned}
 \text{Ralat Nisbi} &= \left(\frac{\delta \overline{HR}}{\overline{HR}}\right) \times 100\% \\
 &= \left(\frac{1,63}{49,9}\right) \times 100\% = 3,26
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Keseksamaan} &= \left(1 - \frac{\delta \overline{HR}}{\overline{HR}}\right) \times 100\% \\
 &= \left(1 - \frac{1,63}{49,9}\right) \times 100\% \\
 &= 96,74\%
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengecoran piston bekas didapatkan bahwa kekerasan pada pengecoran I 50,4 HRB dan pengecoran II 49,9 HRB. Harga kekerasan ini masih lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil kekerasan material piston asli yaitu 76 HRB dan juga lebih rendah dari standar paduan A.333.0 yaitu 67 HRB.

Rendahnya kekerasan hasil pengecoran piston bekas ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan usaha untuk meningkatkan kekerasan hasil pengecoran piston bekas dengan perlakuan panas. Hal ini sejalan penelitian yang dilakukan Muzaffer (2007:216) tentang efek perlakuan panas pada paduan aluminium piston. Dari penelitian Muzaffer dapat disimpulkan bahwa dengan perlakuan panas dapat meningkatkan nilai kekerasan paduan aluminium piston.

4.2.2 Komposisi hasil pengecoran material piston berbasis material piston bekas.

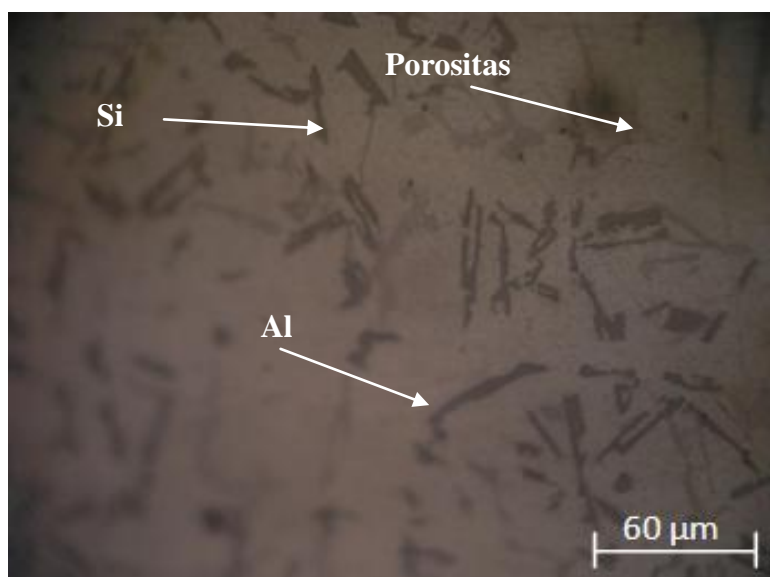
Tabel 4.7 Hasil uji komposisi material piston berbasis material piston bekas

Paduan	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	dst.
Pengecoran I	86,27	7,98	1,50	1,40	0,421	0,954	0,0784	0,694	0,922	dst
Pengecoran II	87,20	7,76	1,50	1,40	0,368	0,353	0,036	0,005	1,23	dst

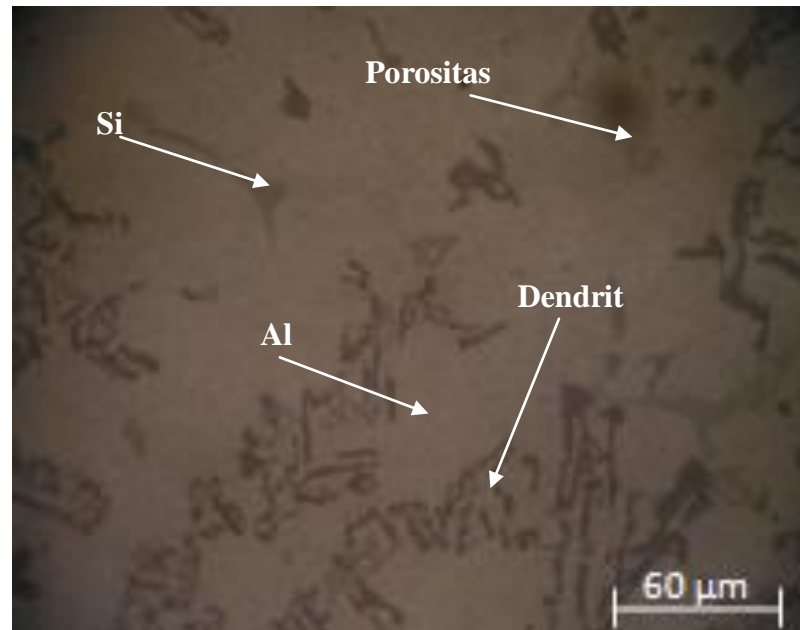
Dari hasil uji komposisi dua kali pengecoran limbah piston bekas didapatkan hasil komposisi dengan kandungan Si kurang dari 8%, sehingga hasil coran limbah piston belum layak untuk digunakan sebagai material piston. Dengan diketahui bahwa komposisi hasil pengecoran piston bekas tidak masuk dalam paduan A. 333.0 dan belum layak digunakan sebagai material piston baru maka, langkah yang diambil pada penelitian ini adalah menambahkan material ADC 12 untuk memperbaiki komposisi kimia.

4.2.3 Struktur mikro hasil pengecoran material piston berbasis material piston bekas

Hasil pengujian struktur mikro pada hasil pengecoran material piston bekas (Gambar 4.2 dan 4.3) menunjukkan bahwa unsur Si tersebar tidak merata dan jumlahnya tidak banyak.



Gambar 4.2 Struktur mikro hasil pengecoran material limbah piston bekas dengan perbesaran mikroskop 1000X (pengecoran I).



Gambar 4.3 Struktur mikro hasil pengecoran material limbah piston bekas dengan perbesaran mikroskop 1000X (Pengecoran II)

Dari ketiga hasil pengujian diatas dapat disimpulkan bahwa rendahnya nilai kekerasan material piston berbasis material piston bekas, perbedaan komposisi Al-Si yang cukup signifikan serta struktur mikro mempunyai matrik Si yang sedikit dan tidak merata. menunjukkan bahwa material piston bekas tidak bisa didaur ulang secara langsung. Untuk dapat memanfaatkan material piston bekas menjadi material piston perlu dilakukan usaha untuk meningkatkan kualitas kekerasan, komposisi dan struktur mikro. Salah satu usaha yang bisa dilakukan adalah dengan penambahan material ADC 12 dan perlakuan panas.

4.3 Studi perbaikan hasil pengecoran limbah piston dengan penambahan ADC 12

Pada penelitian ini usaha yang dilakukan untuk % unsur Si hasil pengecoran limbah piston agar bisa dimanfaatkan menjadi material piston adalah dengan penambahan ADC 12. Komposisi kimia ADC12 dapat disajikan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Komposisi kimia ADC12

Item	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Cr	Pb	Sn	Ti
ADC12	84,70	10,74	0,83	2,06	0,23	0,246	0,91	0,056	0,03	0,118	0,025	0,026

Proses pengecoran piston berbasis limbah material piston bekas dengan penambahan ADC 12 terlihat pada gambar 4.4 berikut ini.



(a) pengecoran

(b) hasil coran

Gambar 4.4 Pembuatan piston berbasis limbah material piston bekas dengan penambahan ADC12

Setelah terbentuk piston selanjutnya dilakukan pembuatan spesimen untuk keperluan pengujian-pengujian guna mendapatkan data-data tentang komposisi kimia, kekerasan, dan struktur mikro.

4.3.1 Pengujian komposisi kimia piston berbasis limbah material piston bekas dengan penambahan ADC 12

4.3.1.1 Hasil pengujian komposisi kimia

Hasil pengujian komposisi terhadap material piston berbasis limbah piston bekas dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Lampiran

Tabel 4.9 Hasil uji komposisi material piston berbasis limbah piston bekas

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

4.3.1.2 Pembahasan hasil pengujian komposisi kimia

Hasil pengujian komposisi pada piston bekas ditambah ADC 12 yang dicor ulang ditunjukkan pada tabel 4.6 berdasarkan pengklasifikasian menurut *standart aluminum company of american* masuk pada paduan A.333.0. Paduan ini memiliki kemampuan untuk menahan korosi, abrasive, koefisien pemuaian rendah dan mempunyai struktur yang baik. Paduan aluminium A.333.0 merupakan paduan yang digunakan untuk material piston dan komponen otomotif.

Penambahan ADC 12 memiliki pengaruh terhadap persentase Si pada hasil pengecoran limbah material piston menjadi material piston baru. Dimana pada penambahan 25% ADC 12 memiliki persentase Si yang paling kecil yaitu rata-rata 7,93 % Si. Penambahan 75% ADC 12 memiliki persentase Si yang paling besar yaitu rata-rata 8,70 % Si. Penambahan 50% ADC 12 mempunyai perbedaan yang tipis sekali dibandingkan dengan penambahan 75 % ADC 12 yaitu 8,61 % Si (selisih 0,09 %). Sehingga untuk efektifitas dan efisiensi dalam proses daur ulang material piston bekas maka komposisi perbandingan 50% PB + 50 % ADC 12 merupakan perbandingan yang ideal.

4.3.2 Pengujian kekerasan piston berbasis limbah material piston bekas dengan penambahan ADC 12

4.3.2.1 Hasil pengujian kekerasan

Pengujian kekerasan pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800°C didapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 4.10, 4.11 dan 4.12 berikut ini.

Tabel 4.10 Hasil pengujian kekerasan piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur Penuangan 700 °C

PERBANDINGAN KOMPOSISI	PENGUJIAN					Rata- rata
	1	2	3	4	5	
75% PB + 25% ADC 12	51.5	52.5	52.0	49.5	51.5	51.4
50% PB + 50% ADC 12	63.5	59.5	60.0	62.5	61.5	61.4
25% PB + 75% ADC 12	65.0	62.5	61.5	64.0	63.5	63.3
100% PB Kontrol I	50.0	51.0	46.5	48.0	49.5	49.0
100% ADC 12 Kontrol I	68.5	67.5	69.0	68.0	66.0	67.8

Tabel 4.11 Hasil pengujian kekerasan material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangan 750 °C

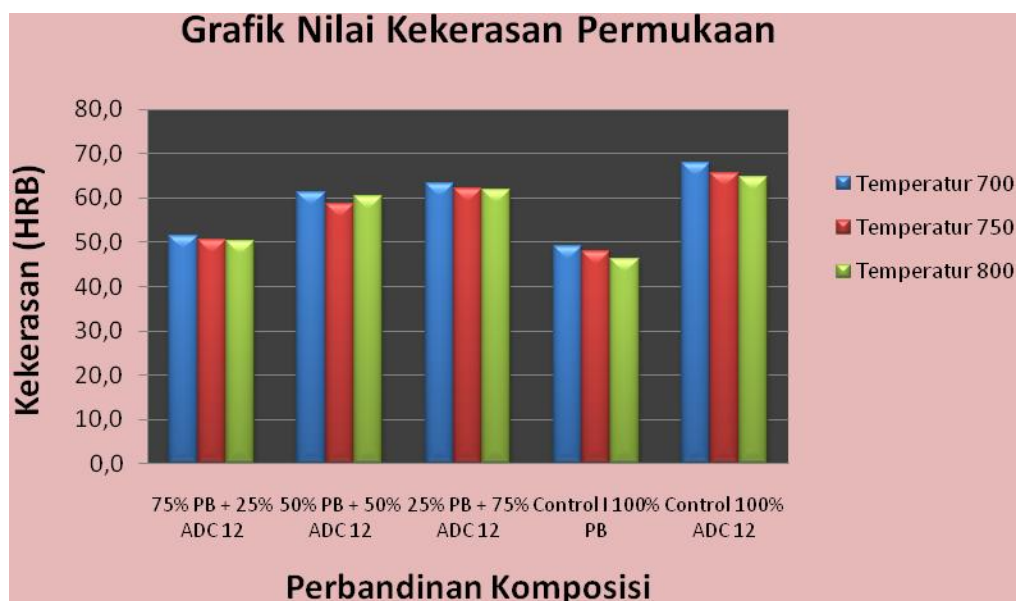
PERBANDINGAN KOMPOSISI	PENGUJIAN					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
75% PB + 25% ADC 12	50.5	49.5	51.5	51.0	50.5	50.6
50% PB + 50% ADC 12	57.0	58.5	58.0	60.0	59.5	58.6
25% PB + 75% ADC 12	62.5	61.0	61.5	60.5	64.5	62.0
100% PB Kontrol I	48.0	49.5	46.5	48.0	47.5	47.9
100% ADC Kontrol I 12	65.0	65.5	67.0	64.5	66.0	65.6

Tabel 4.12 Hasil pengujian kekerasan material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangan 800 °C

PERBANDINGAN KOMPOSISI	PENGUJIAN					Rata-rata
	1	2	3	4	5	
75% PB + 25% ADC 12	48.5	49.0	51.5	52.0	50.5	50.3
50% PB + 50% ADC 12	59.0	61.0	61.5	59.5	60.5	60.3
25% PB + 75% ADC 12	61.0	63.0	62.5	60.5	61.5	61.7
100% PB Kontrol I	45.5	44.5	46.5	47.0	47.5	46.2
100% ADC 12 Kontrol II	64.0	65.5	64.5	66.0	63.5	64.7

4.3.2.2 Pembahasan hasil pengujian pengujian piston berbasis limbah material piston bekas

Dari rata-rata hasil pengujian kekerasan di atas dapat disajikan dalam grafik seperti pada Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4.5 Pengujian material piston berbasis limbah material piston bekas

Pada grafik 4.5 dapat dijelaskan bahwa pada paduan 75% PB + 25 % ADC 12 baik pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800 °C merupakan paduan yang memiliki nilai kekerasan yang paling rendah yaitu 51,4; 50,6; dan 50,3 HRB. Hasil kekerasan terendah ini berada sedikit diatas kontrol I (paduan 100% PB). Sedangkan paduan 25% PB + 75% ADC 12 baik pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800 °C merupakan paduan yang memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 63,5; 64,5; dan 61,5 HRB.

Dari grafik pada Gambar 4.5 dapat terlihat bahwa nilai kekerasan antara paduan 50% PB + 50 % ADC dan 75% PB + 25 % ADC memiliki perbedaan yang tidak begitu besar (Tabel 4.13)

Tabel 4.13 Perbandingan nilai kekerasan paduan 50% PB + 50 % ADC dan 75% PB + 25 % ADC

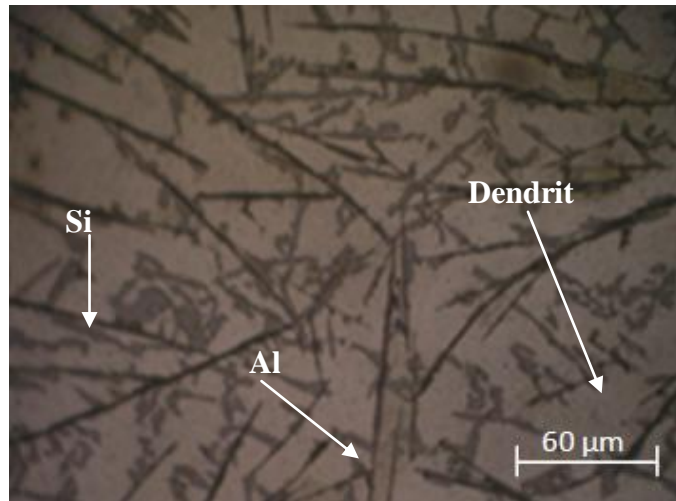
Temperatur Penuangan	50% PB + 50% ADC 12	25% PB + 75% ADC 12	Selisih (%)
700 °C	61.4	63.3	3%
750 °C	58.6	62.0	5.5%
800 °C	60.3	61.7	2.3%

Hasil ini sejalan dengan hasil pengujian komposisi yang telah dilakukan dimana hasil antara 50% PB + 50 % ADC dengan 75% PB + 25 % ADC memiliki selisih yang kecil. Sehingga untuk efektifitas dan efisiensi dalam proses daur ulang material piston bekas maka komposisi perbandingan 50% PB + 50 % ADC12.

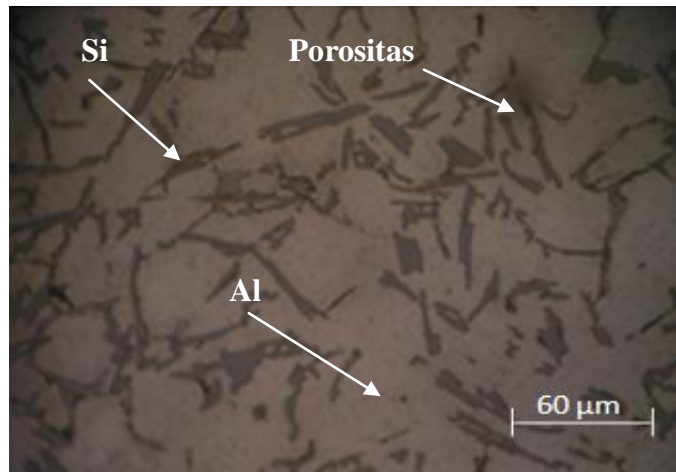
4.3.3 Pengujian struktur mikro material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12

4.3.3.1 Hasil pengujian struktur mikro

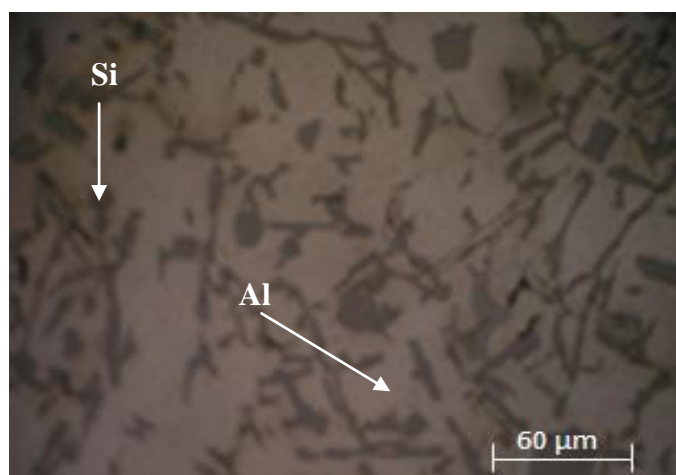
Hasil pengujian struktur mikro material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangan 700°C, dapat diamati seperti pada Gambar 4.6.



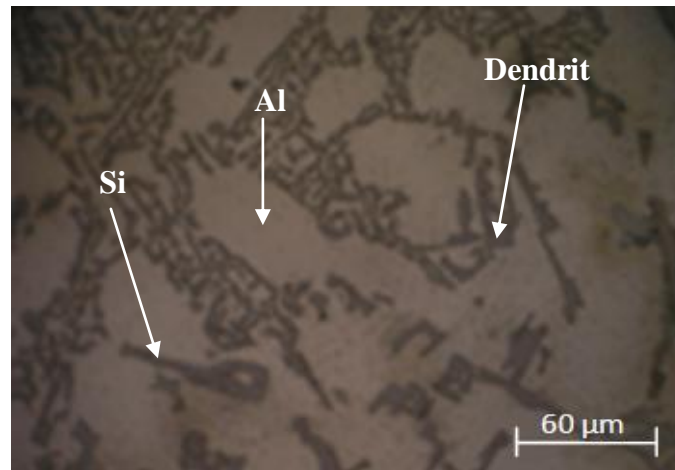
a. Struktur mikro paduan 75%PB + 25%ADC12



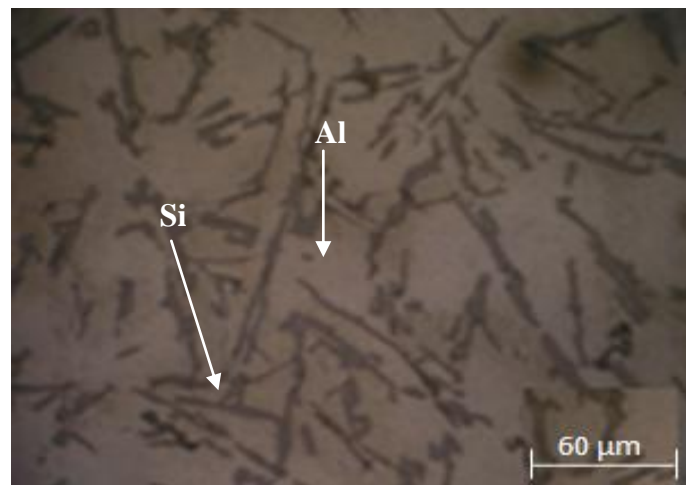
b. Struktur mikro paduan 50%PB + 50%ADC12



c. Struktur mikro paduan 25%PB + 75%ADC12



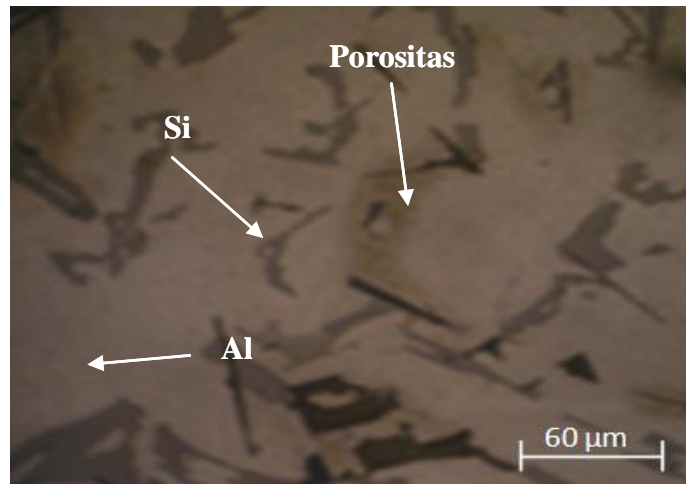
d. Struktur mikro paduan 100 %PB (Kontrol I)



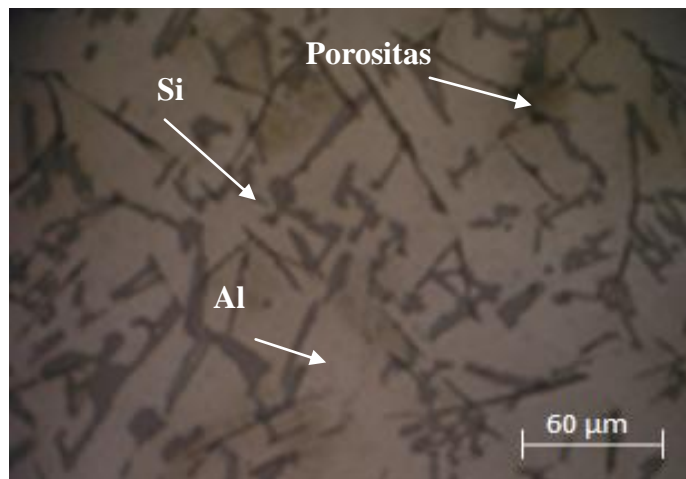
e. Struktur mikro paduan 100 %ADC 12 (Kontrol II)

Gambar 4.6 Hasil pengamatan struktur mikro material piston berbasis limbah piston bekas pada temperatur penuangan 700 °C dengan perbesaran 1000x.

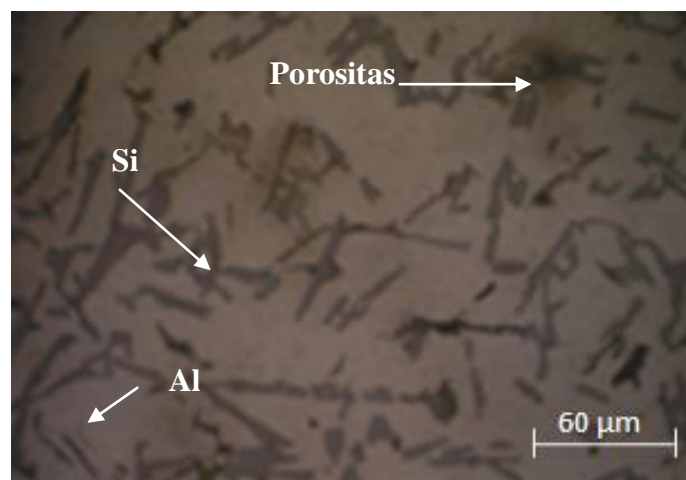
Hasil pengujian struktur mikro material piston berbasis piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangan 750⁰C, dapat diamati seperti pada Gambar 4.7



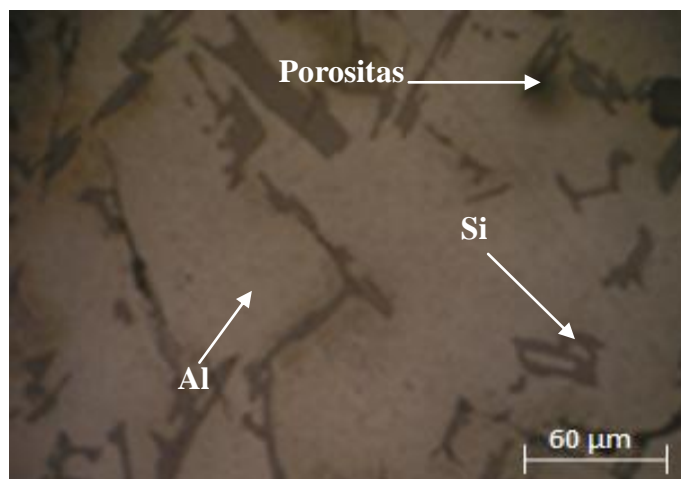
a. Struktur mikro paduan 75%PB + 25% ADC12



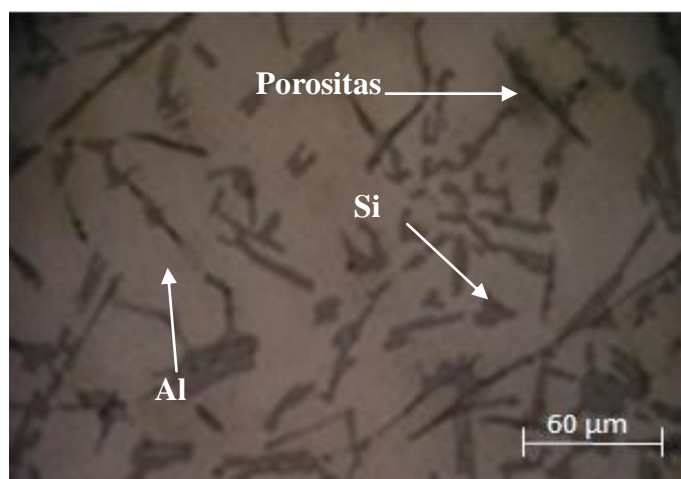
b. Struktur mikro paduan 50%PB + 50% ADC12



c. Struktur mikro paduan 25%PB + 75% ADC12



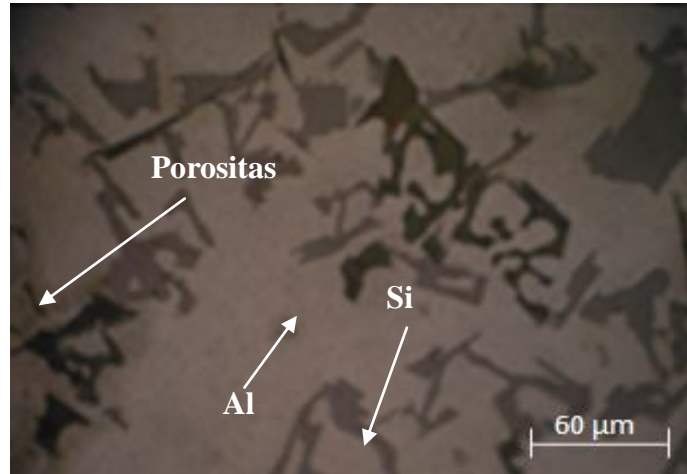
d. Struktur mikro paduan 100%PB



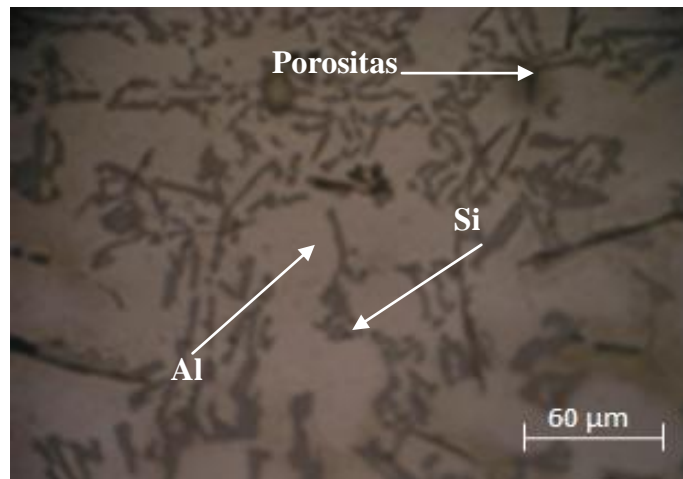
e. Struktur mikro paduan 100%PB

Gambar 4.7 Hasil pengamatan struktur mikro material piston berbasis piston bekas pada temperatur penuangan 750 °C dengan perbesaran 1000x.

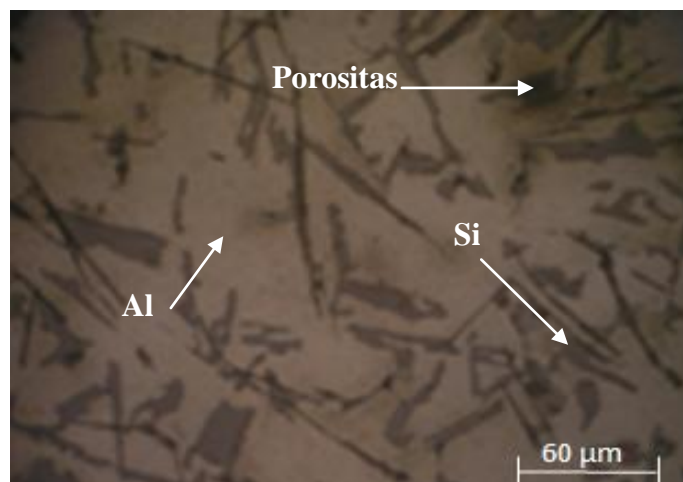
Hasil pengujian struktur mikro material piston berbasis piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangan 800°C, dapat diamati seperti pada Gambar 4.8.



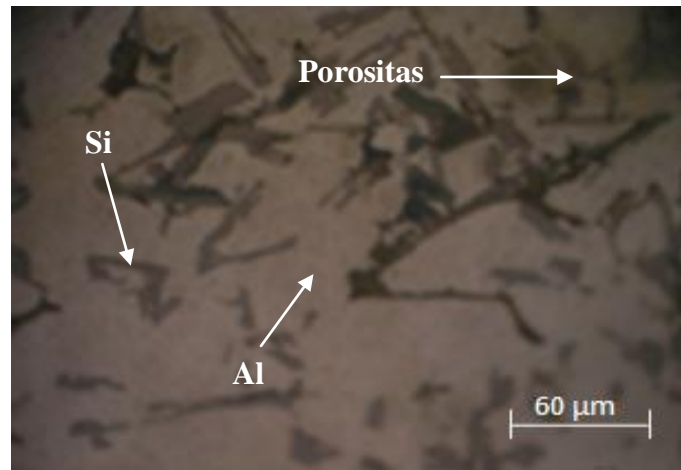
a. Struktur mikro paduan 75%PB + 25% ADC12



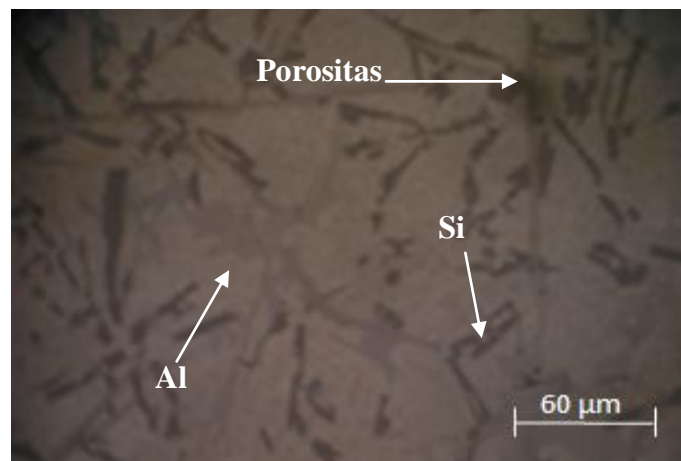
b. Struktur mikro paduan 50%PB + 50% ADC12



c. Struktur mikro paduan 25%PB + 75% ADC12



d. Struktur mikro paduan 100% PB



e. Struktur mikro paduan 100% ADC 12

Gambar 4.8 Hasil pengamatan struktur mikro material piston berbasis piston bekas pada temperatur penuangan 800 °C dengan perbesaran 1000x.

4.3.3.2 Pembahasan hasil pengujian struktur mikro

Berdasarkan pada Gambar 4.6, 4.7 dan 4.8 pengamatan struktur mikro hasil pengecoran piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12, diperoleh beberapa temuan seperti berikut:

- 1) Pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800 °C, seiring dengan penambahan ADC 12 ke dalam pengecoran piston bekas dapat meningkatkan % Si dalam paduan. Hal ini bisa terlihat dari semakin bertambahnya matrik Si dan semakin meratanya persebarannya pada paduan aluminium. Hasil ini mendukung dan memperkuat hasil pengujian komposisi yang dilakukan.

Sehingga penambahan ADC 12 dapat digunakan sebagai upaya untuk meningkatkan komposisi Si.

- 2) Pada Tabel 4.11 jika diamati khususnya pada komposisi paduan 50% PB + 50 % ADC dan 75% PB + 25 % ADC baik pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800 °C terlihat bahwa hasil struktur mikro hampir mirip. Dimana persebaran Si dan bentuk Kristal Si kedua paduan hampir sama. Hal ini juga mempertegas hasil dari pengujian kekerasan dan komposisi kimia. Sehingga untuk efektifitas dan efisiensi dalam proses daur ulang material piston bekas maka komposisi perbandingan 50% PB + 50 % ADC.

Dari hasil Studi perbaikan pengecoran piston menjadi piston dengan penambahan ADC 12 dapat disimpulkan bahwa secara hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan ADC 12 secara kekerasan, komposisi kimia dan struktur mikro masih dibawah dari kualitas piston asli Daihatsu. Tetapi bila dibandingkan dengan standar kualitas paduan aluminium A.333.0 secara kekerasan, komposisi kimia dan struktur mikro masuk.

Efektifitas penggunaan piston bekas yang dinilai efektif dan ekonomis adalah pada paduan 50% PB + 50 % ADC. Hal ini dikarenakan dari beberapa pengujian menunjukkan bahwa 50% PB + 50 % ADC memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh jika dibandingkan dengan 25% PB + 75 % ADC. Sehingga studi lanjutan yang diambil untuk meningkatkan kualitas mekanik hasil piston daur ulang piston bekas adal perlakuan panas. Perlakuan panas yang dilakukan adalah pada paduan 50% PB + 50 % ADC.

4.4 Upaya Peningkatan Sifat Mekanik Material Piston (Paduan 50% PB + 50 % ADC 12) Melalui Perlakuan Panas

Berdasarkan rekomendasi pada hasil studi pengecoran piston berbasis material piston bekas dengan penambahan ADC 12, bahwa perbandingan komposisi penggunaan material PB + ADC 12 yang efektif adalah 50% PB dan 50% ADC 12. Sehingga pada studi peningkatan kualitas mekanik hasil pengecoran piston berbasis material piston bekas melalui perlakuan panas yang dipakai adalah paduan 50% PB dan 50% ADC 12.

Berdasarkan hasil uji komposisi kimia (Tabel 4.6), paduan 50% PB dan 50% ADC 12 masuk dalam paduan aluminium A.333.0. Sedangkan untuk paduan A.333.0 mempunyai standar perlakuan panas seperti terlihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Standart perlakuan panas paduan A.333.0 (ASM Volume 15)

Alloy	Temper	Type of casting	Solution heat treatment			Aging treatment		
			Temperatur		Time (h)	Temperatur		Time (h)
			⁰ C	⁰ F		⁰ C	⁰ F	
333.0	T6	P	505	950	6-12	155	310	2-5

Tabel 4.14 diatas selanjutnya menjadi acuan dalam proses perlakuan panas. Pada penelitian ini perlakuan panas dilakukan dengan memanaskan material piston hasil daur ulang piston bekas hingga temperatur 505 ⁰C kemudian ditahan pada temperatur tersebut selama 12 jam (tahap *solution heat treatment*). Setelah itu didinginkan cepat dalam media air dengan temperatur 80 ⁰C selama 7 detik (tahap *quenching*). Setelah tahap *quenching* dilakukan *aging* dengan beberapa variasi temperatur *aging* dan waktu penahanan *aging*. Setelah dilakukan proses perlakuan panas selanjutnya dilakukan pengujian terhadap material piston dengan komposisi paduan 50% PB dan 50% ADC 12.

4.4.1 Pengujian kekerasan material piston 50%PB dan 50%ADC 12 hasil proses perlakuan panas.

4.4.1.1 Hasil pengujian kekerasan material piston 50%PB dan 50%ADC 12 hasil proses perlakuan panas

Pengujian kekerasan pada material piston 50% PB dan 50% ADC 12 dengan variasi temperatur *aging* dan waktu penahanan *aging* didapatkan hasil seperti terlihat pada Tabel 4.15.

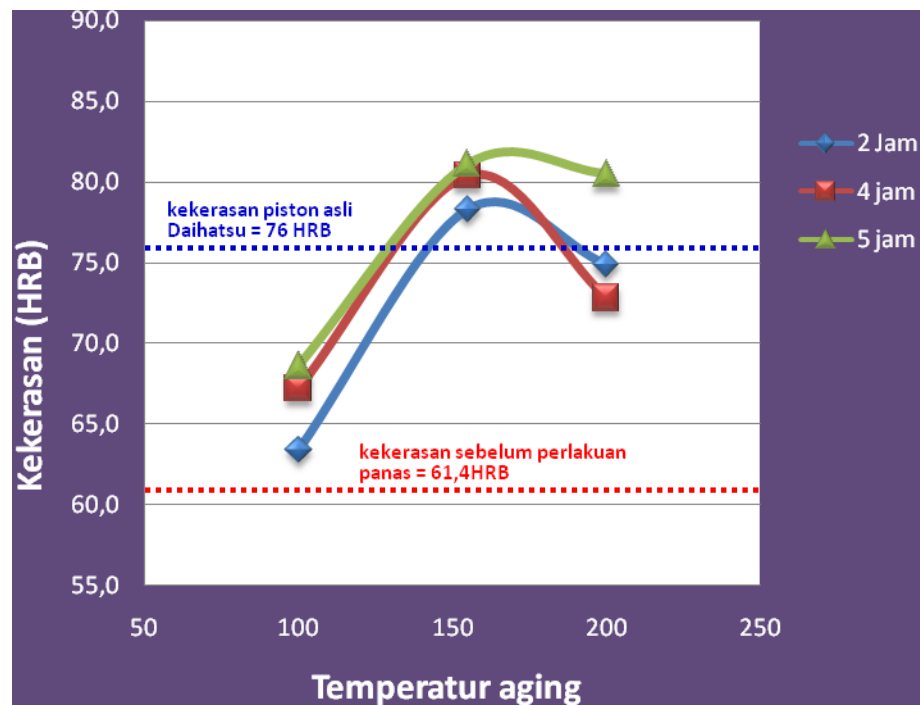
Tabel 4.15 Hasil pengujian kekerasan material (HRB) piston 50%PB dan 50%ADC 12 hasil proses perlakuan panas

Temperatur Penuangan	Sebelum Perlakuan panas	Temperatur Aging 100 °C			Temperatur Aging 155 °C			Temperatur Aging 200 °C		
		Waktu Aging 2 jam	Waktu Aging 4 jam	Waktu Aging 5jam	Waktu Aging 2 jam	Waktu Aging 4 jam	Waktu Aging 5jam	Waktu Aging 2 jam	Waktu Aging 4 jam	Waktu Aging 5jam
700 °C	63.5	63.0	68.0	69.0	76.0	80.5	82.0	70.0	73.5	80.0
	59.5	61.0	64.0	67.0	77.5	79.5	79.5	74.5	72.0	79.0
	60.0	62.0	66.5	71.5	78.0	80.5	82.5	78.0	73.0	79.5
	62.5	65.0	68.5	67.5	80.0	80.5	81.0	77.5	73.5	82.5
	61.5	66.0	69.0	68.0	80.0	81.0	80.5	74.5	72.0	81.5
Rata-rata	61.4	63.4	67.2	68.6	78.3	80.4	81.1	74.9	72.8	80.5
750 °C	57.0	60.5	58.5	65.0	75.5	78.5	79.0	73.0	74.5	79.5
	58.5	59.5	61.5	66.0	77.5	78.5	81.0	72.5	72.0	77.5
	58.0	58.5	62.0	66.0	76.0	79.0	80.5	73.5	75.0	78.0
	60.0	59.5	63.5	61.5	78.0	80.0	80.0	70.0	75.5	76.5
	59.5	58.0	60.5	65.0	78.5	80.0	79.5	71.0	73.5	75.0
Rata-rata	58.6	59.2	61.2	64.7	77.1	79.2	80.0	72.0	74.1	77.3
800 °C	59.0	60.5	67.0	66.0	68.5	68.5	77.5	73.0	76.5	74.0
	61.0	62.5	66.0	66.5	69.5	80.5	80.0	70.5	75.5	76.5
	61.5	65.5	61.5	67.0	63.0	80.0	82.0	73.5	75.5	76.0
	59.5	64.5	60.0	70.0	68.5	79.5	78.0	74.5	70.5	79.0
	60.5	64.5	67.5	68.0	75.5	81.0	79.0	71.5	77.5	79.5
Rata-rata	60.3	63.5	64.4	67.5	69.0	77.9	79.3	72.6	75.1	77.0

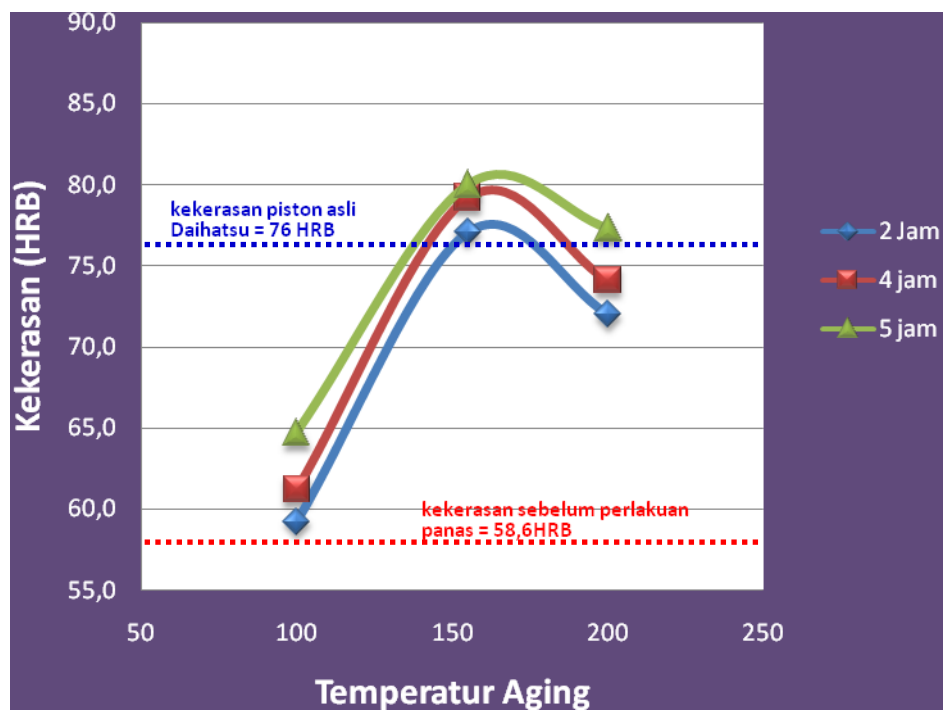
4.4.1.2 Pembahasan hasil pengujian kekerasan material piston 50%PB dan 50%ADC 12 hasil proses perlakuan panas

Berdasarkan pada Tabel 4.15 hasil pengujian kekerasan material piston 50%PB + 50%ADC12, dapat diperoleh beberapa kesimpulan seperti berikut:

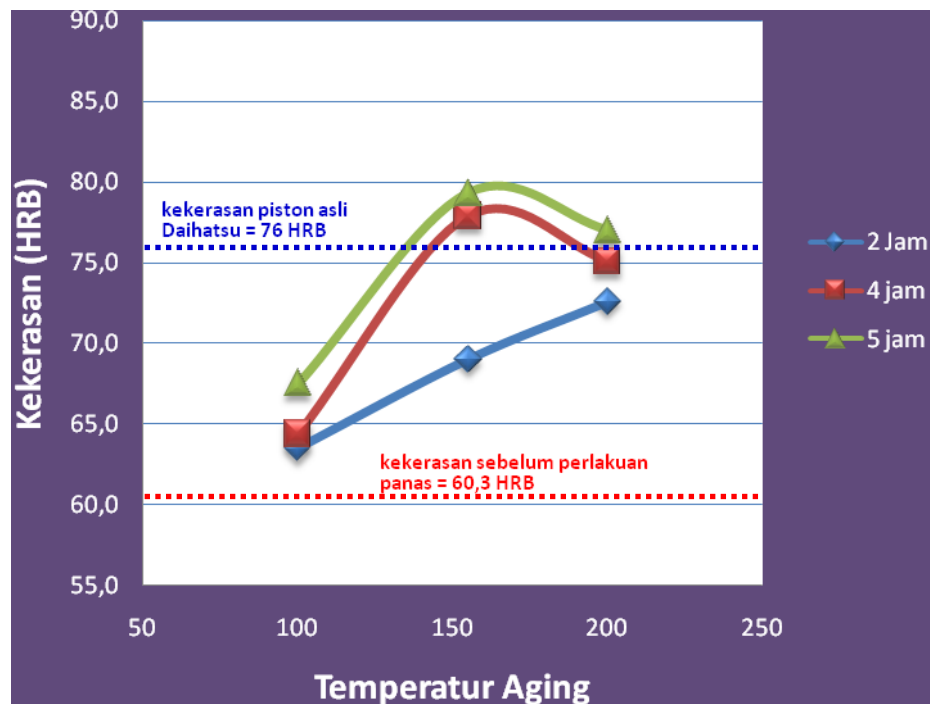
- 1) Proses perlakuan panas dapat meningkatkan kekerasan material piston 50% PB + 50% ADC 12, baik pada temperatur penuangan 700 °C (Gambar 4.6), 750 °C (Gambar 4.7), maupun 800 °C (Gambar 4.8). Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Zeren, Muzaffer (2007:216) yaitu perlakuan panas dapat meningkatkan kekerasan paduan aluminium piston.



Gambar 4.9 Grafik pengujian kekerasan material piston 50% PB+50% ADC12 hasil proses perlakuan panas pada temperatur penuangan 700 °C

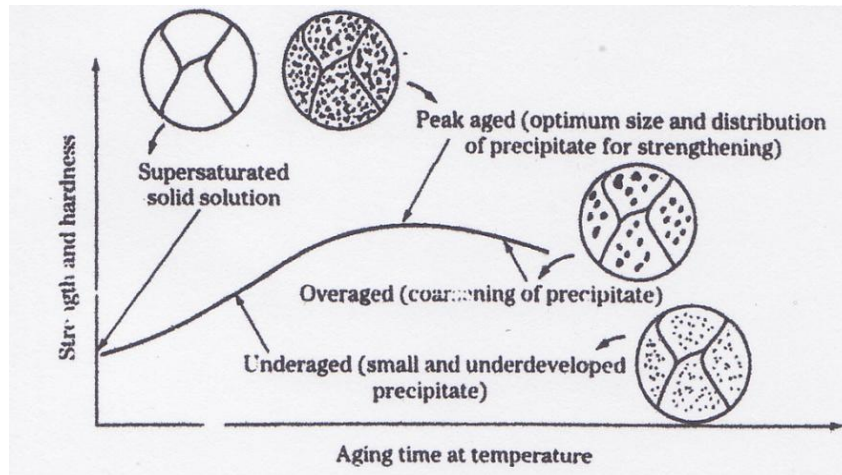


Gambar 4.10 Grafik pengujian kekerasan material piston 50% PB+50% ADC12 hasil proses perlakuan panas pada temperatur penuangan 750 °C



Gambar 4.11 Grafik pengujian kekerasan material piston 50% PB+50% ADC12 hasil proses perlakuan panas pada temperatur penuangan 800 °C

- 2) Setelah proses perlakuan panas nilai kekerasan material piston 50% PB + 50% ADC12 dapat meningkat dan beberapa hasil pengujian memiliki kekerasan yang sama dan bahkan diatas kekerasan piston asli yaitu 76 HRB. Hasil perlakuan panas yang menghasilkan nilai kekerasan \geq kekerasan piston asli adalah perlakuan panas dengan temperatur aging 155 °C dengan waktu aging 2, 4 dan 5 jam.
- 3) Dari grafik pada Gambar 4.9, 4.10 dan 4.11 dapat diketahui bahwa pada temperatur *aging* 100 °C sampai 155 °C grafik kekerasan hasil perlakuan panas material piston 50% PB + 50% ADC12 menunjukkan kecenderungan menghasilkan nilai kekerasan yang meningkat. Tetapi setelah temperatur aging 155 °C grafik menunjukkan kecenderungan menghasilkan nilai kekerasan yang menurun. Sehingga kekerasan optimal didapatkan pada temperatur aging 155 °C. Hasil ini sejalan dengan kurva aging (*strength or hardness vs time*) oleh Smith, (1993:466) Gambar 4.12. Didapatkannya temperatur aging 155 °C sebagai temperatur yang optimum dikarenakan pada temperatur tersebut merupakan titik *peak aged* dimana ukuran dan distribusi pripitation untuk penguatan paduan sudah mencapai titik optimum.



Gambar 4.12 Kurva aging (*strength or hardness vs time*)

Rotinsulu, Sinthia S.J. 2001: 10 dalam penelitiannya menyatakan bahwa pada perlakuan panas Al-Si tercapainya kekerasan optimum pada temperatur aging tertentu disebabkan terbentuknya presipitat metastabil yang optimal yang menghalangi pergerakan dislokasi. Sedangkan jika temperatur aging ditingkatkan setelah tercapai titik optimum maka kekerasan cenderung akan menurun. Hal ini dikarenakan oleh penggabungan atau pengerasan presipitat yang menjadi koheren dengan matriknya.

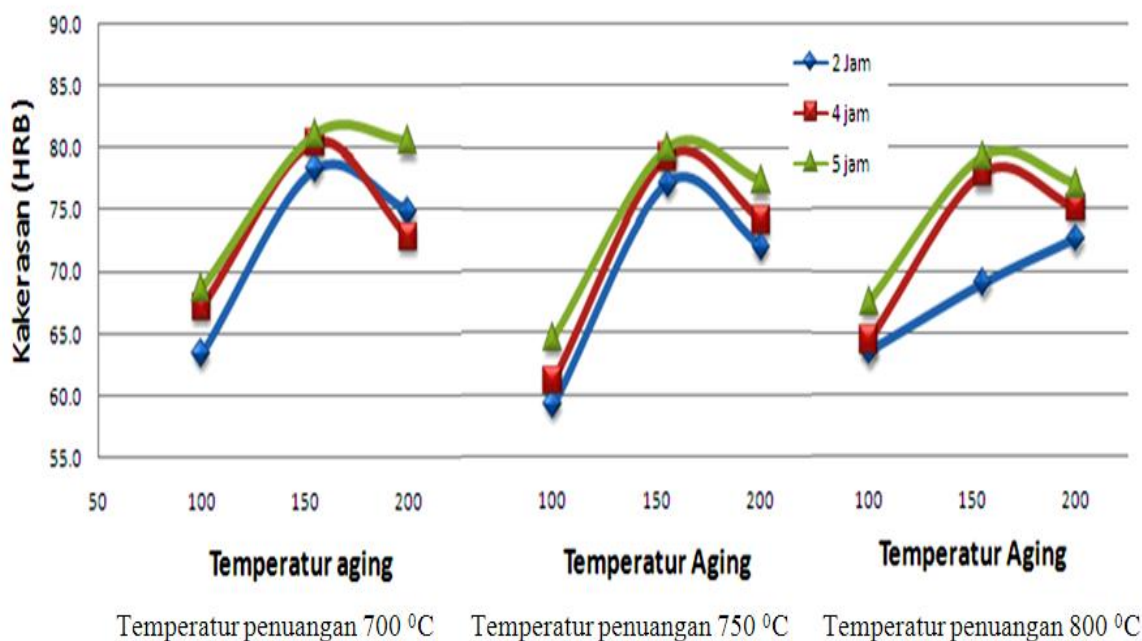
Hasil dari penelitian ini sekaligus juga menjawab mengapa pada ASM 15 untuk paduan A.333.0 rekomendasi temperatur aging pada proses perlakuan panas adalah 155 °C.

- 4) Dari grafik pada Gambar 4.9, 4.10 dan 4.11 juga dapat diketahui bahwa seiring dengan penambahan waktu aging kekerasan yang dihasilkan cenderung meningkat. Dimana kekerasan tertinggi dihasilkan pada waktu aging 5 jam. Hal ini dikarenakan pada waktu permulaan aging, Zona GP yang terbentuk terus berkembang baik dari segi ukuran, maupun jumlah seiring dengan bertambahnya waktu aging. Untuk presipitat yang bertambah besar dan jumlah yang juga bertambah banyak menyebabkan jarak antar partikel presipitat semakin rapat. Presipitat yang rapat inilah yang bertindak sebagai penghalang yang menyebabkan pergeseran dislokasi semakin sulit ketika terjadi deformasi pada paduan Smith, (1993:464-466). Akibatnya didapatkan

kekerasan paduan Al-Si yang meningkat seiring dengan peningkatan waktu penahan.

Peningkatan kekerasan seiring dengan peningkatan waktu aging juga akan menemui titik puncak dan setelah titik puncak dilewati kekerasan cenderung akan menurun.

- 5) Dari tiga variasi temperatur penuangan yaitu 700 °C, 750 °C, dan 800 °C, pada temperatur penuangan 700 °C menghasilkan nilai kekerasan yang paling besar. Hal ini terlihat seperti pada Gambar 4.13 grafik pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan material piston 50%PB + 50%ADC12 pada temperatur 700 °C, 750 °C, dan 800 °C.



Gambar 4.13 Grafik pengaruh perlakuan panas terhadap kekerasan material piston 50%PB + 50%ADC12 pada temperatur 700 °C, 750 °C, dan 800 °C.

4.4.2 Kekuatan tarik hasil konversi dari kekerasan material piston 50%PB + 50%ADC 12 setelah proses perlakuan panas

Pada penelitian ini untuk mengetahui kekuatan tarik material piston 50%PB + 50% ADC12 setelah proses perlakuan panas maka, dilakukan konversi harga kekuatan tarik dari harga kekerasan material. Untuk mengkonversi harga kekerasan menjadi harga kekuatan tarik digunakan Tabel *Tensile Strength to Hardness Conversion Chart* yang diunduh dari <http://www.mwsc.com/kb/articles/19990630e.htm> (Lampiran).

4.4.2.1 Hasil konversi kekerasan ke kekuatan tarik material piston 50%PB + 50%ADC 12 setelah proses perlakuan panas

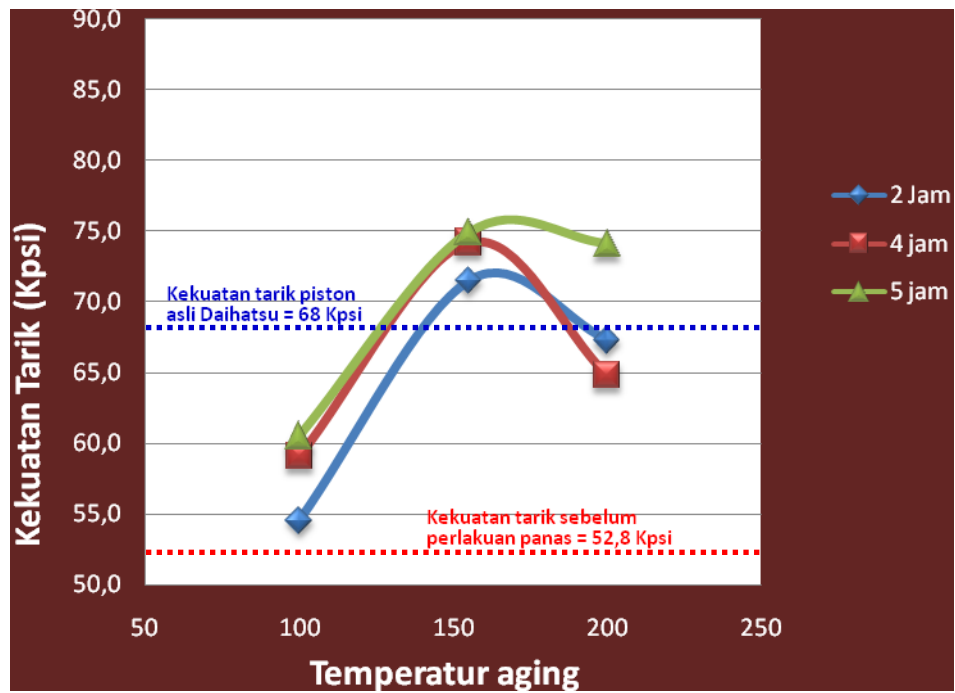
Hasil konversi kekerasan ke kekuatan tarik material piston 50%PB + 50%ADC 12 setelah proses perlakuan panas tersaji dalam Tabel 4.16 berikut ini:

Tabel 4.16 Kekuatan tarik (KPsi) hasil konversi dari kekerasan material (HRB) piston 50%PB + 50%ADC 12 setelah proses perlakuan panas

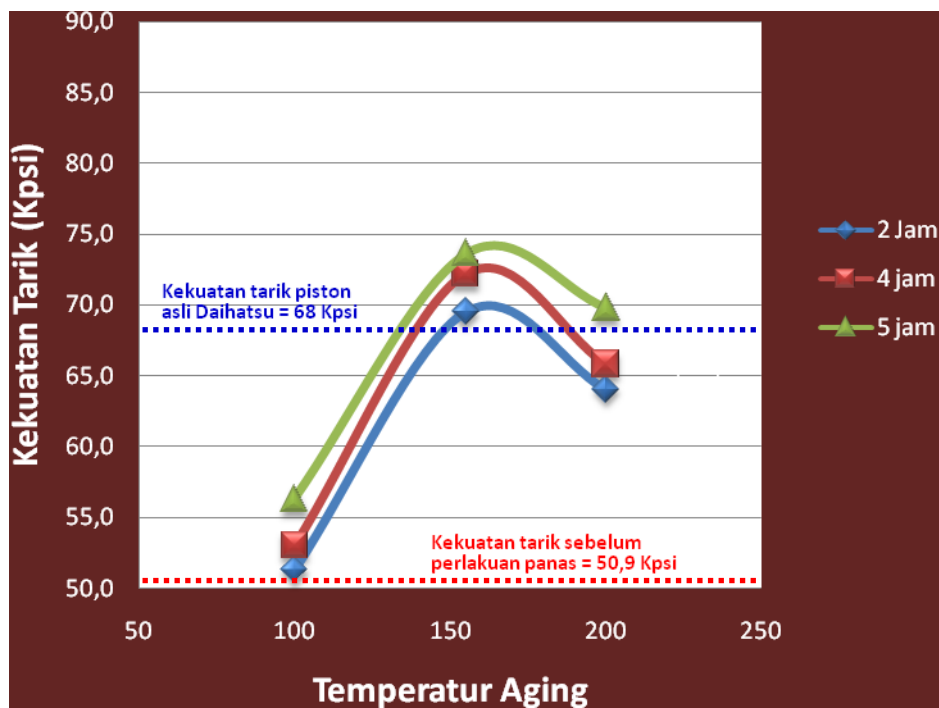
Temperatur Penuangan	Sebelum Perlakuan panas	Temperatur Aging 100 °C			Temperatur Aging 155 °C			Temperatur Aging 200 °C		
		Waktu Aging 2 jam	Waktu Aging 4 jam	Waktu Aging 5jam	Waktu Aging 2 jam	Waktu Aging 4 jam	Waktu Aging 5jam	Waktu Aging 2 jam	Waktu Aging 4 jam	Waktu Aging 5jam
700 °C	52.5	54.5	60.0	61.0	68.0	74.5	76.0	62.0	65.5	74.0
	51.5	53.0	56.0	59.0	70.5	72.5	72.5	66.5	64.0	72.0
	52.0	54.0	58.0	63.0	71.0	74.5	76.5	71.0	65.0	72.5
	54.5	56.0	60.5	59.5	74.0	74.5	75.0	70.5	65.5	76.5
	53.5	58.0	61.0	60.0	74.0	75.0	74.5	66.5	64.0	75.5
Rata-rata	52.8	55.1	59.1	60.5	71.5	74.2	74.9	67.3	64.8	74.1
750 °C	50.0	52.5	50.5	56.0	66.5	71.5	72.0	65.0	66.5	72.5
	50.3	51.5	53.5	58.0	70.5	71.5	75.0	64.5	64.0	70.5
	50.5	50.5	54.0	58.0	68.0	72.0	74.5	65.6	66.5	71.0
	52.0	51.5	54.5	53.5	71.0	74.0	74.0	62.0	66.6	68.5
	51.5	50.5	52.5	56.0	71.5	74.0	72.5	63.0	65.5	66.5
Rata-rata	50.9	51.3	53.0	56.3	69.5	72.6	73.6	64.0	65.8	69.8
800 °C	51.0	52.5	59.0	58.0	60.5	71.5	70.5	65.0	68.5	66.0
	53.0	54.5	58.0	58.5	61.5	74.5	74.0	62.5	66.5	68.5
	53.5	56.5	53.5	59.0	53.5	74.0	76.0	66.5	66.5	68.0
	51.5	56.5	52.0	62.0	60.5	72.5	71.0	66.5	62.5	72.0
	52.5	56.5	59.5	60.0	66.5	75.0	72.0	63.5	70.5	72.5
Rata-rata	52.3	55.3	56.4	59.5	60.5	73.5	72.7	64.8	66.9	69.4

4.4.2.2 Pembahasan hasil konversi kekerasan ke kekuatan tarik material piston 50%PB + 50%ADC 12 setelah proses perlakuan panas.

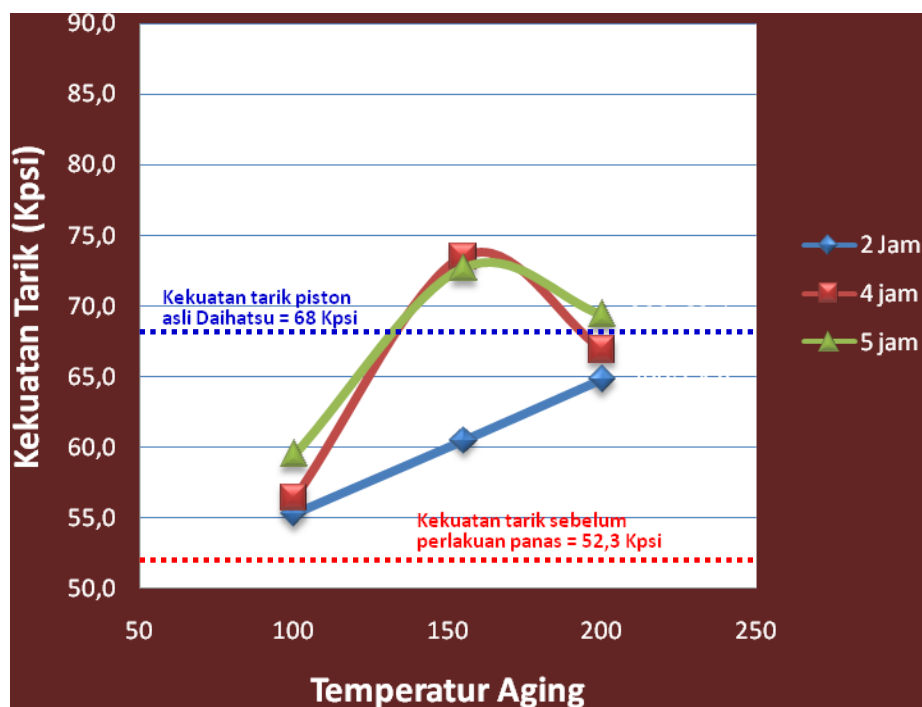
Seperti halnya hasil dari pengujian kekerasan, kekuatan tarik material piston 50%PB + 50%ADC 12 juga menunjukkan hasil yang sama dengan pengujian kekerasan. Dimana proses perlakuan panas dapat meningkatkan kekuatan tarik material piston 50% PB + 50% ADC 12, baik pada temperatur penuangan 700 °C , 750 °C, maupun 800 °C.



Gambar 4.14 Grafik pengujian kekuatan tarik material piston 50%PB+50%ADC12 hasil proses perlakuan panas pada temperatur penuangan 700°C



Gambar 4.15 grafik pengujian kekuatan tarik material piston 50%PB+50%ADC12 hasil proses perlakuan panas pada temperatur penuangan 750°C



Gambar 4.16 Grafik pengujian kekuatan tarik material piston 50%PB+50%ADC12 hasil proses perlakuan panas pada temperatur penuangan 800⁰C

Setelah proses perlakuan panas nilai kekuatan tarik material piston 50% PB + 50% ADC12 dapat meningkat dan beberapa hasil pengujian memiliki kekerasan yang sama dan bahkan diatas kekuatan tarik piston asli yaitu 68 kpsi (konversi dari kekerasan 76 HRB). Hasil perlakuan panas yang menghasilkan nilai kekuatan tarik \geq kekuatan tarik piston asli adalah perlakuan panas dengan temperatur aging 155 ⁰C dengan waktu aging 2, 4 dan 5 jam.

Dari grafik pada Gambar 4.14, 4.15 dan 4.16 dapat diketahui bahwa pada temperatur *aging* 100 ⁰C sampai 155 ⁰C nilai kekuatan tarik material piston 50% PB + 50% ADC12 menunjukkan kecenderungan menghasilkan nilai kekuatan tarik yang meningkat. Tetapi setelah temperatur aging 155 ⁰C grafik menunjukkan kecenderungan menghasilkan nilai kekuatan tarik yang menurun. Sehingga kekuatan tarik yang optimal didapatkan pada temperatur aging 155 ⁰C. Hasil ini sejalan dengan kurva aging (*strength or hardness vs time*) oleh Smith, (1993:466) Gambar 4.12.

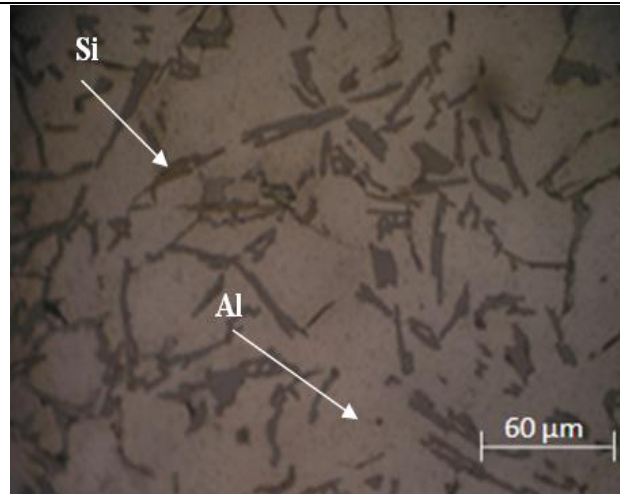
Dari grafik pada Gambar 4.14, 4.15 dan 4.16 juga dapat diketahui bahwa seiring dengan penambahan waktu aging kekuatan tarik yang dihasilkan cenderung meningkat. Dimana kekuatan tarik tertinggi dihasilkan pada waktu aging 5 jam. Hal ini dikarenakan pada waktu aging, Zona GP yang terbentuk terus berkembang baik dari segi ukuran, maupun jumlah seiring dengan bertambahnya waktu aging. Untuk presipitat yang bertambah besar dan jumlah yang juga bertambah banyak menyebabkan jarak antar partikel presipitat semakin rapat. Presipitat yang rapat inilah yang bertindak sebagai penghalang yang menyebabkan pergeseran dislokasi semakin sulit ketika terjadi deformasi pada paduan William, (1993:464-466). Akibatnya didapatkan kekuatan tarik paduan Al-Si yang meningkat seiring dengan peningkatan waktu aging.

4.4.3 Pengujian struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC 12 setelah proses perlakuan panas

Pengujian struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC 12 setelah proses perlakuan panas dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sejauh mana perbedaan bentuk struktur mikro sesudah dan sebelum proses perlakuan panas. Hasil dari pengujian struktur mikro ini diharapkan dapat memperkuat hasil dari pengujian kekerasan dan kekuatan tarik, karena dengan pengamatan struktur mikro dapat terlihat susunan dan struktur kristal suatu logam.

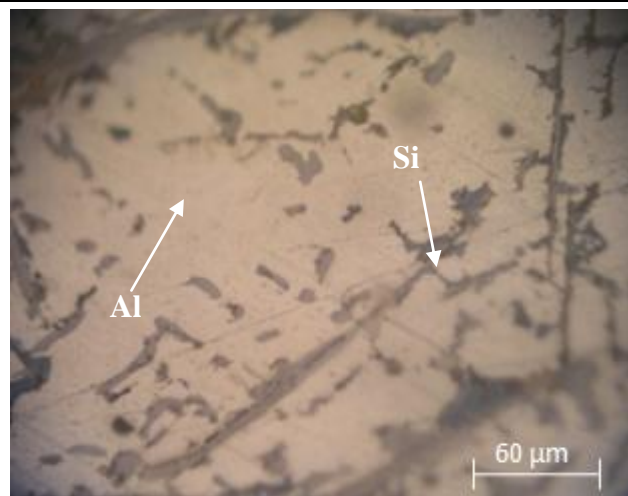
4.4.3.1 Hasil pengujian struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC 12 hasil setelah proses perlakuan panas pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C, dan 800 °C

Hasil pengamatan stuktur mikro terhadap material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas pada temperatur penuangan 700 °C terlihat pada Gambar 4.17a, 4.17.b dan 4.17c, pada temperatur penuangan 750 °C terlihat pada Gambar 4.18a, 4.18.b dan 4.18c serta pada temperatur penuangan 800 °C terlihat pada Gambar 4.19a, 4.19.b dan 4.19c.

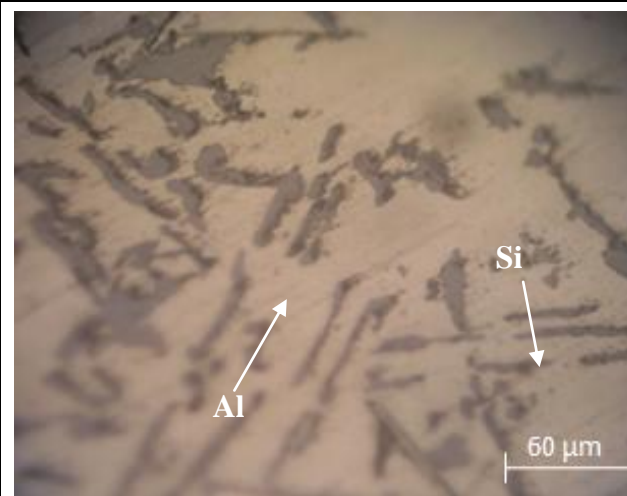


Struktur mikro sebelum perlakuan panas pada temperatur penuangan 700 °C

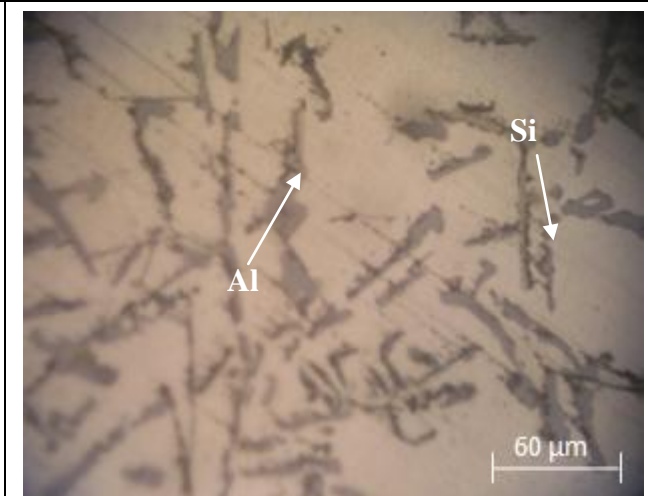
Waktu Aging 2 Jam



Temperatur Aging 100 °C

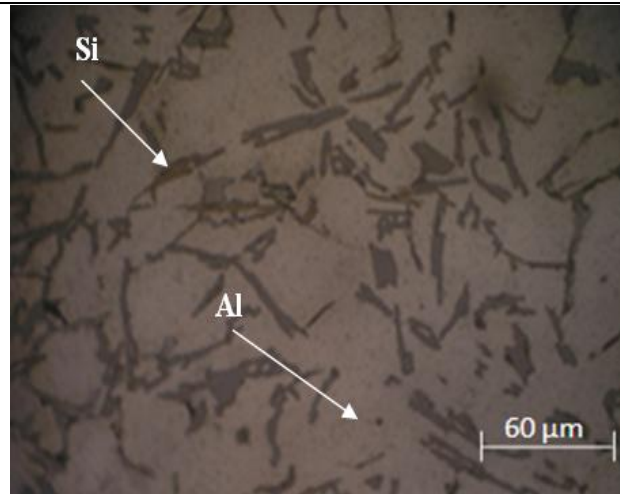


Temperatur Aging 155 °C



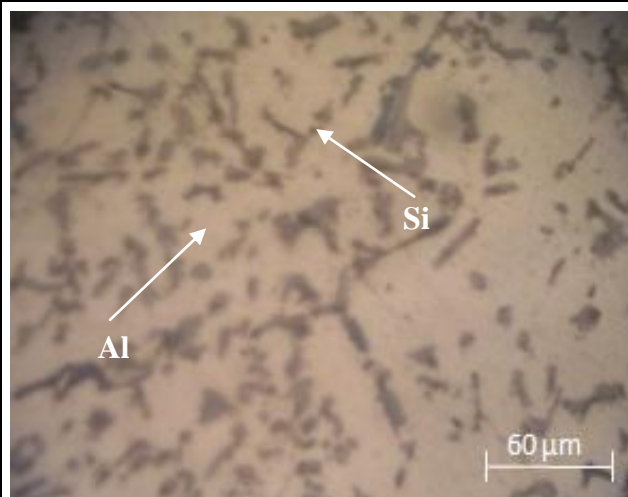
Temperatur Aging 200 °C

Gambar 4.17 a. Struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas dengan temperatur penuangan 700 °C dan waktu aging 2 jam

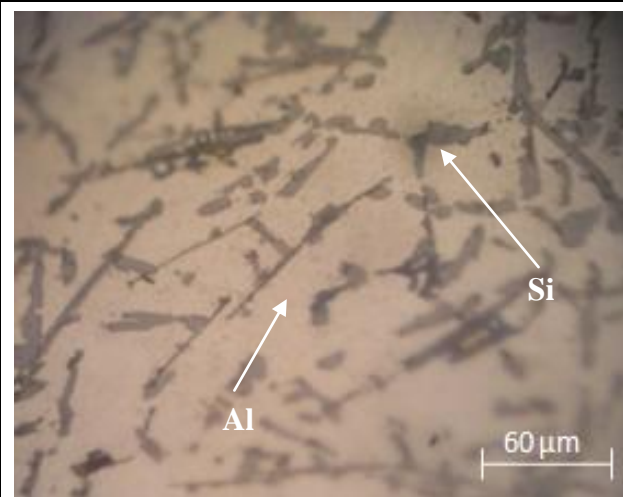


Struktur mikro sebelum perlakuan panas pada temperatur penuangan 700 °C

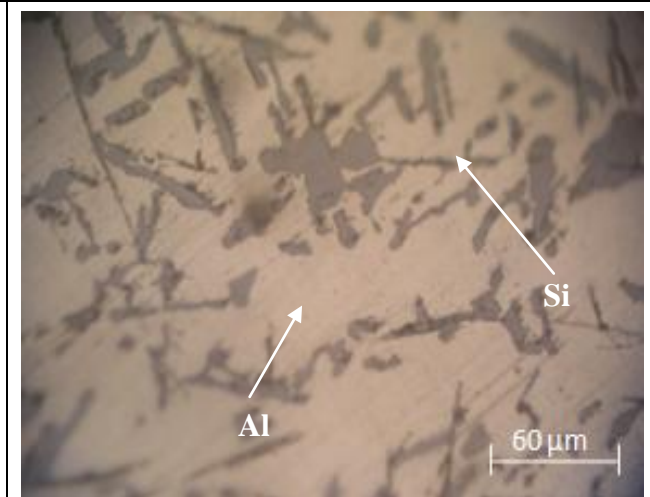
Waktu Aging 4 Jam



Temperatur Aging 100 °C

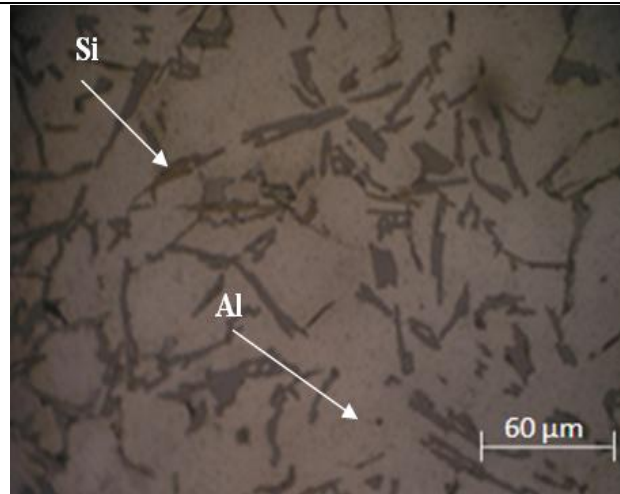


Temperatur Aging 155 °C



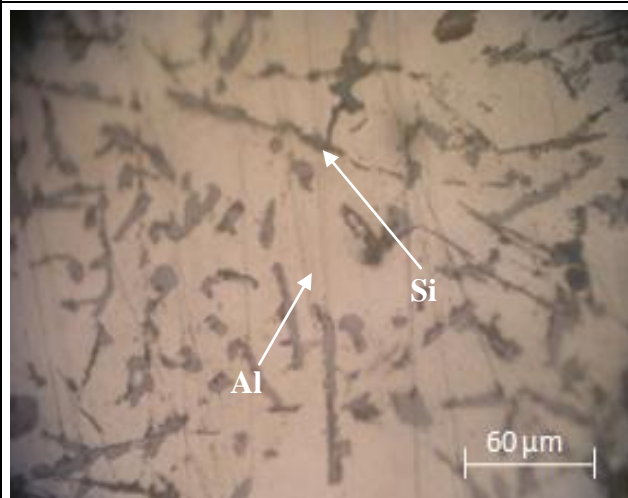
Temperatur Aging 200 °C

Gambar 4.17 b. Struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas dengan temperatur penuangan 700 °C dan waktu aging 4 jam

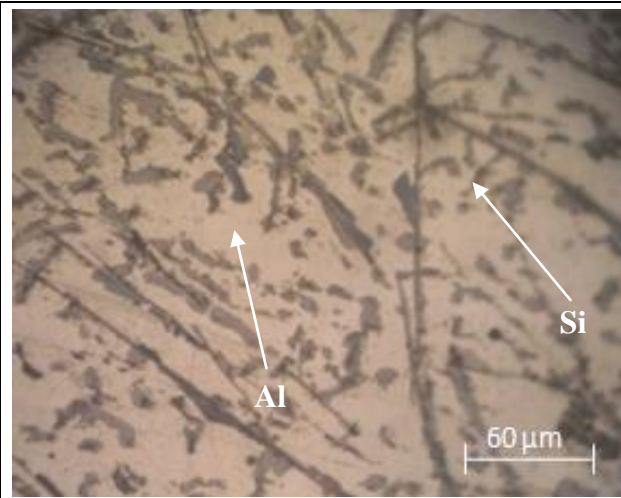


Struktur mikro sebelum perlakuan panas pada temperatur penuangan 700 °C

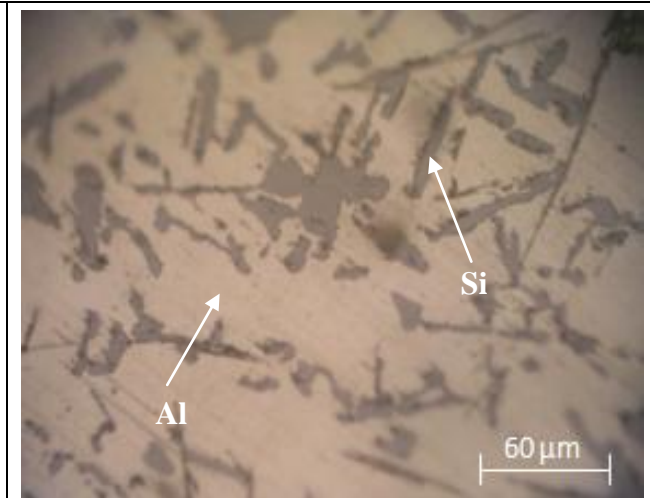
Waktu Aging 5 Jam



Temperatur Aging 100 °C

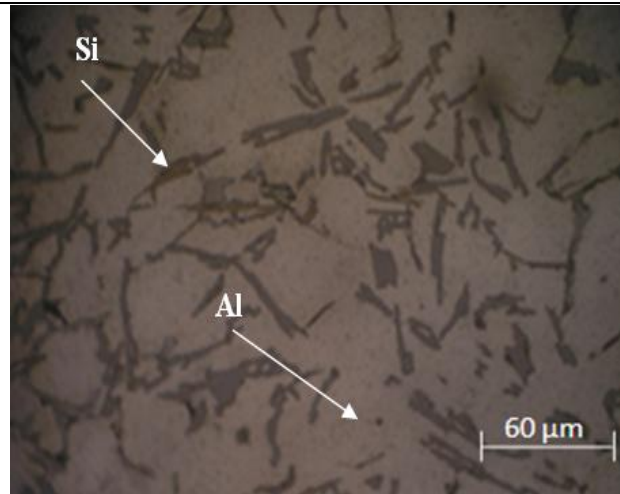


Temperatur Aging 155 °C



Temperatur Aging 200 °C

Gambar 4.17 c. Struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas dengan temperatur penuangan 700 °C dan waktu aging 5 jam

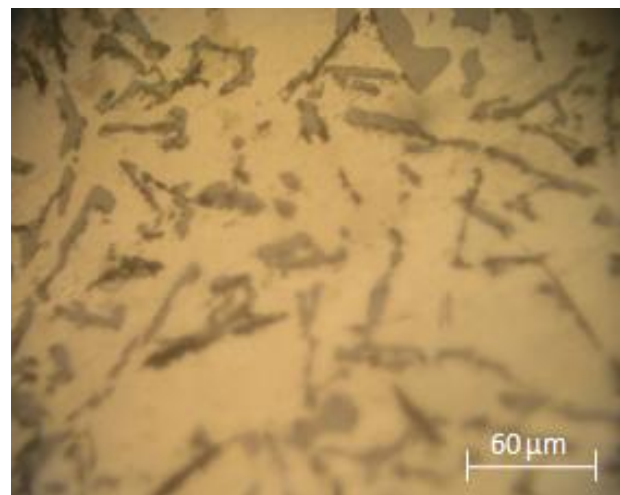


Struktur mikro sebelum perlakuan panas pada temperatur penuangan 750 °C

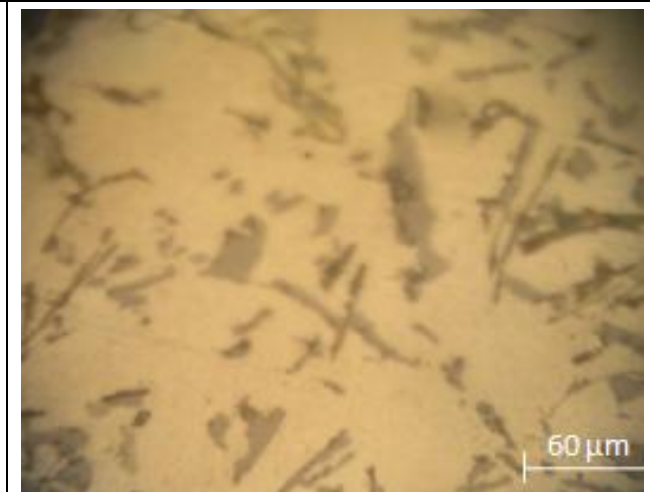
Waktu Aging 2 Jam



Temperatur Aging 100 °C

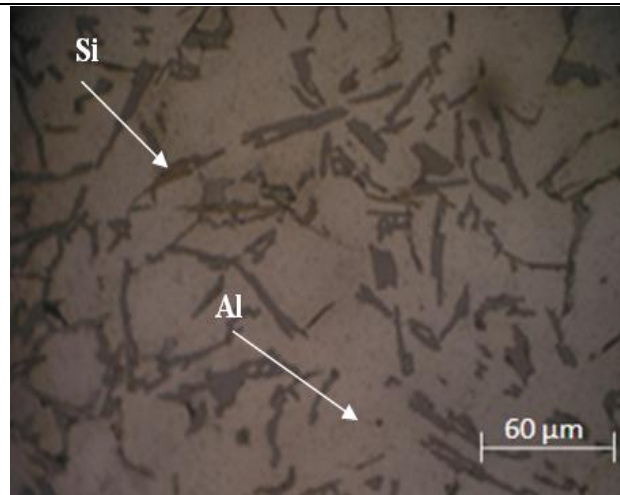


Temperatur Aging 155 °C



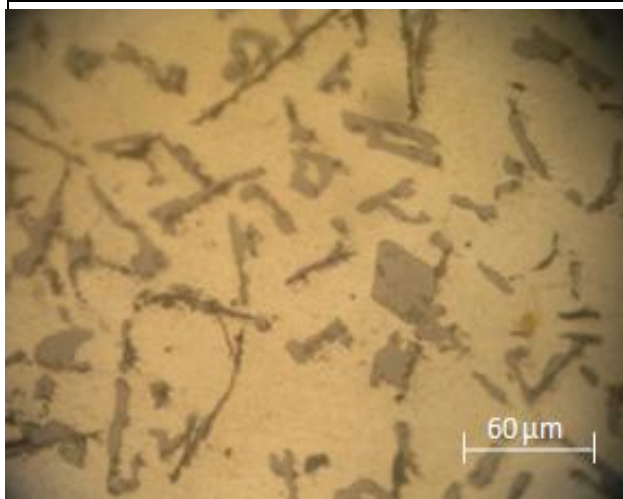
Temperatur Aging 200 °C

Gambar 4.18 a. Struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas dengan temperatur penuangan 750 °C dan waktu aging 2 jam

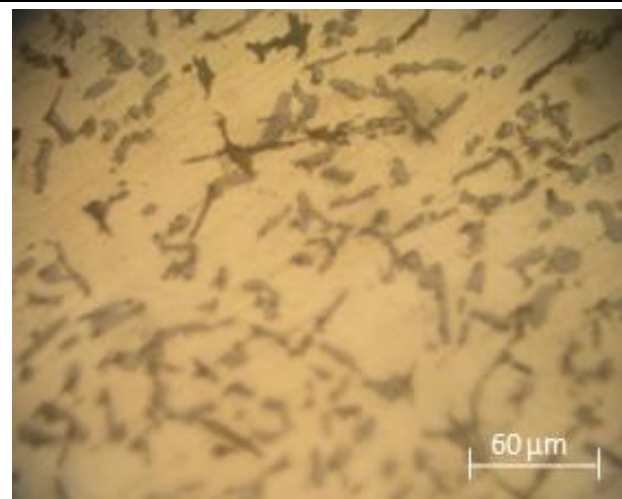


Struktur mikro sebelum perlakuan panas pada temperatur penuangan 750 °C

Waktu Aging 4 Jam



Temperatur Aging 100 °C

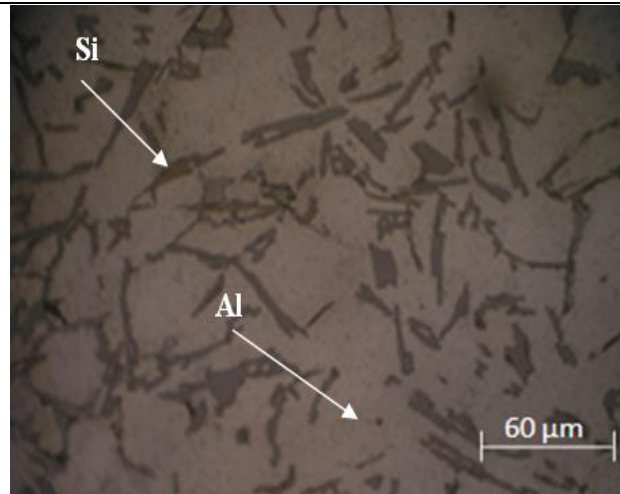


Temperatur Aging 155 °C



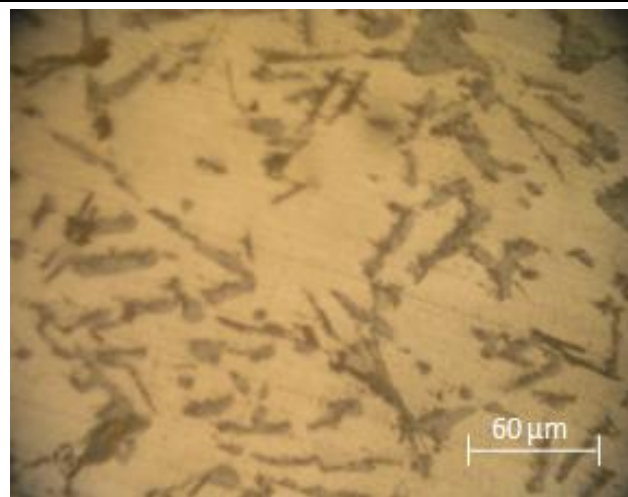
Temperatur Aging 200 °C

Gambar 4.18 b. Struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas dengan temperatur penuangan 750 °C dan waktu aging 4 jam

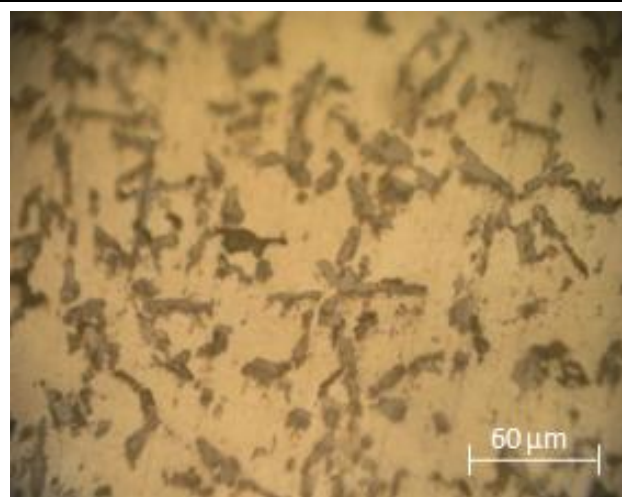


Struktur mikro sebelum perlakuan panas pada temperatur penuangan 750 °C

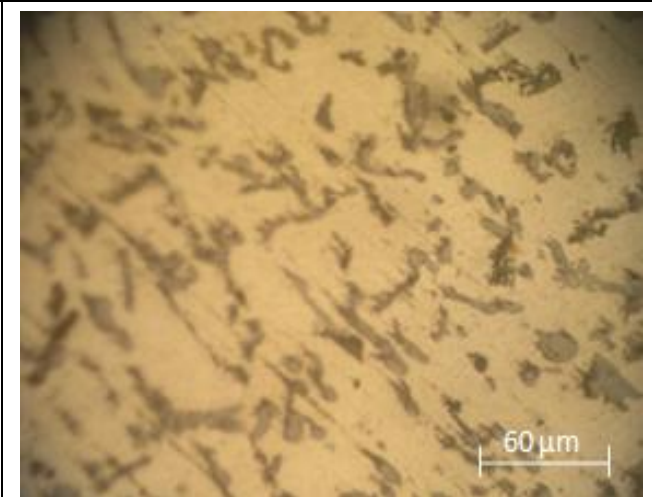
Waktu Aging 5 Jam



Temperatur Aging 100 °C

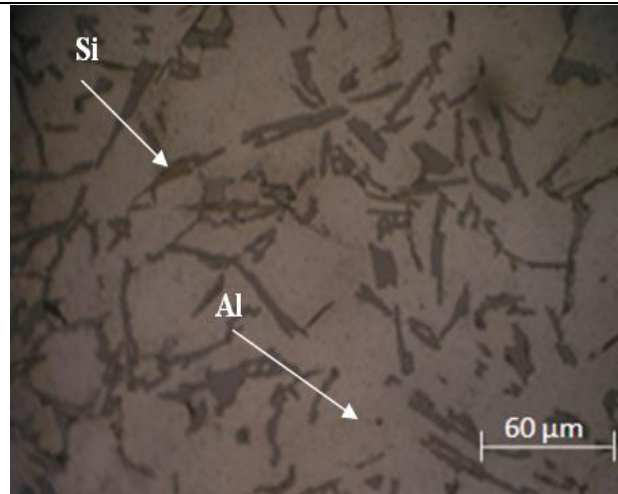


Temperatur Aging 155 °C



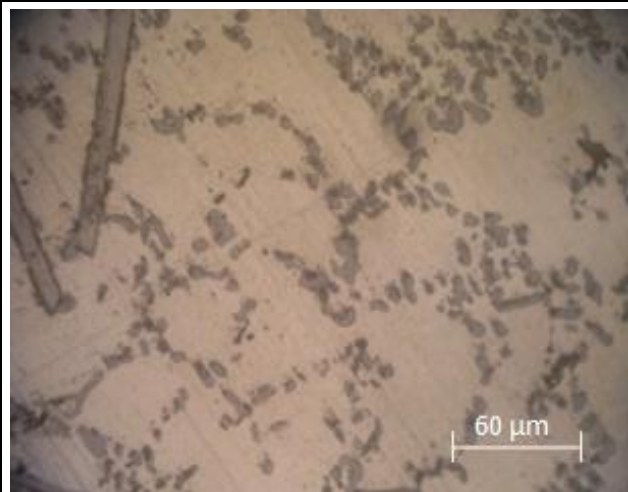
Temperatur Aging 200 °C

Gambar 4.18 c. Struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas dengan temperatur penuangan 750 °C dan waktu aging 5 jam

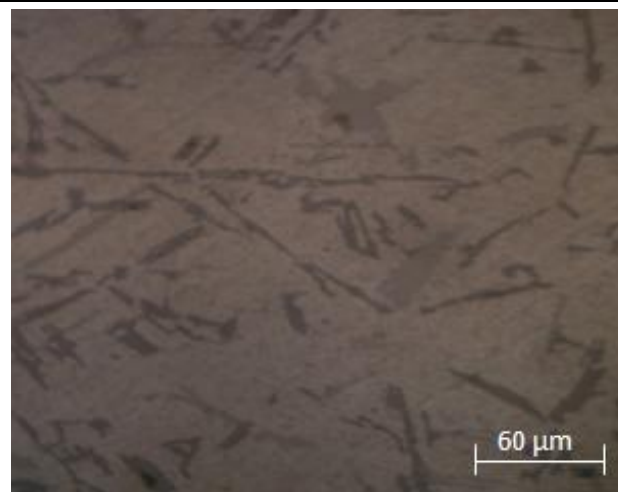


Struktur mikro sebelum perlakuan panas pada temperatur penuangan 800 °C

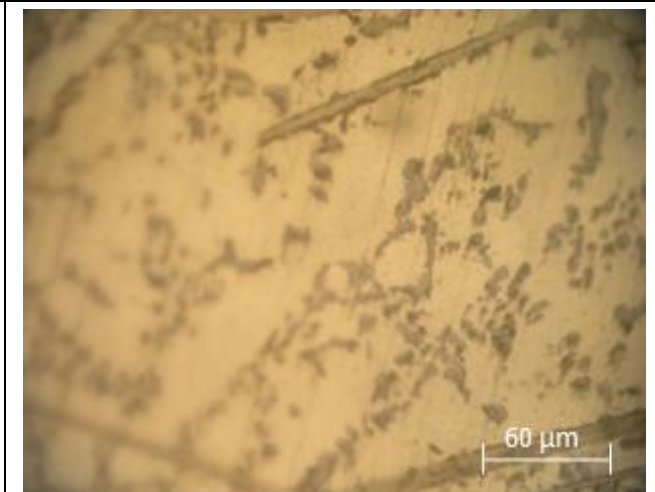
Waktu Aging 2 Jam



Temperatur Aging 100 °C

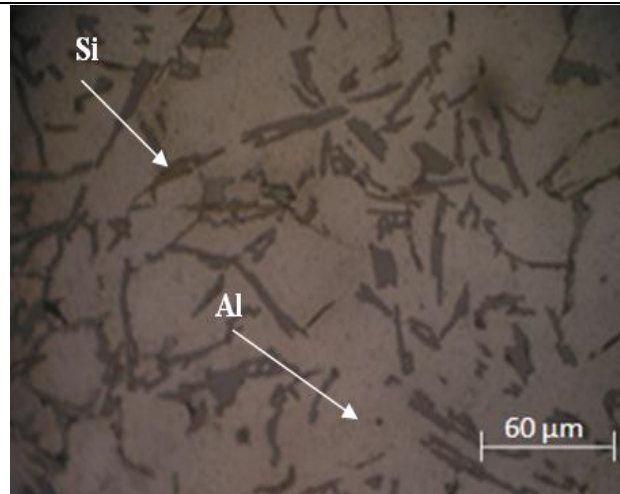


Temperatur Aging 155 °C



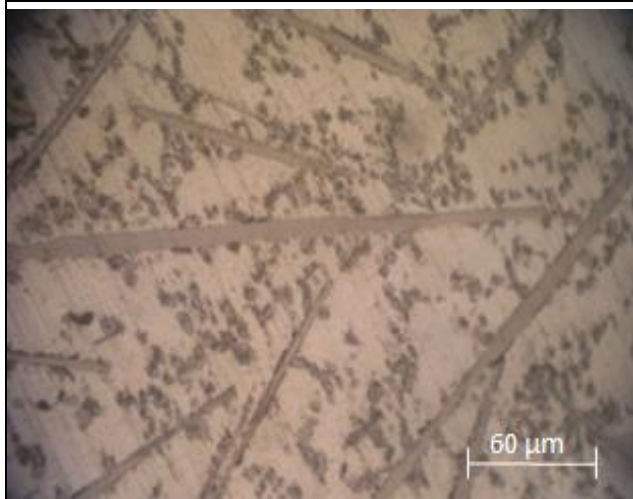
Temperatur Aging 200 °C

Gambar 4.19 a. Struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas dengan temperatur penuangan 800 °C dan waktu aging 2 jam

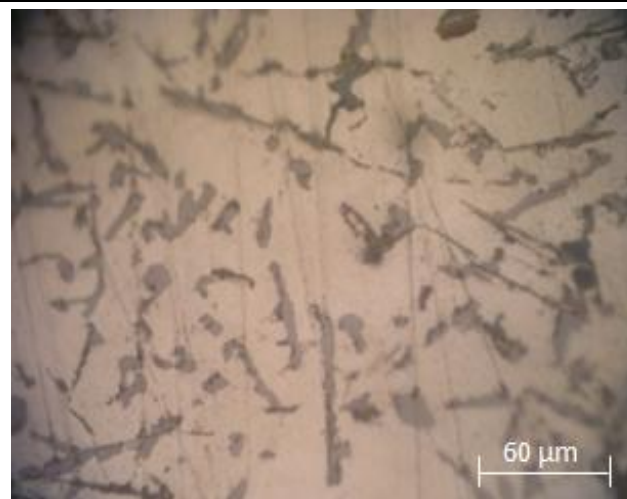


Struktur mikro sebelum perlakuan panas pada temperatur penuangan 800 °C

Waktu Aging 4 Jam



Temperatur Aging 100 °C

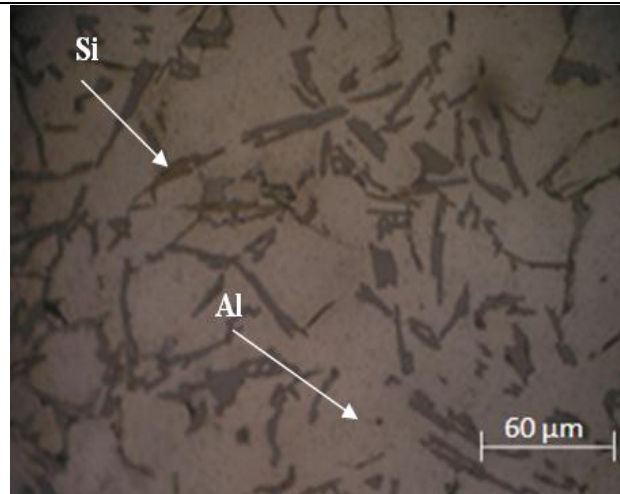


Temperatur Aging 155 °C



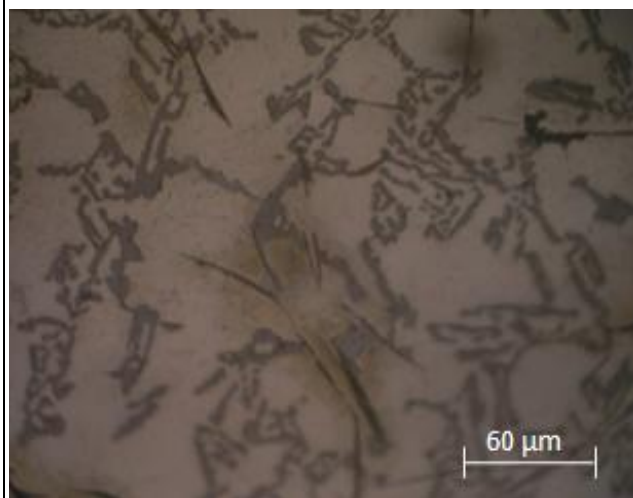
Temperatur Aging 200 °C

Gambar 4.19 b. Struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas dengan temperatur penuangan 800 °C dan waktu aging 4 jam

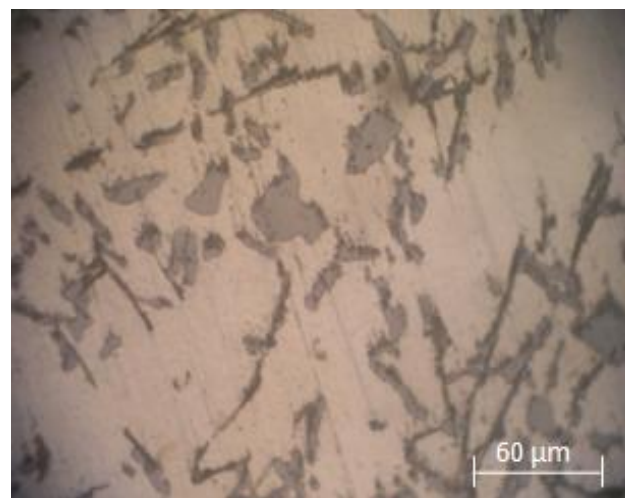


Struktur mikro sebelum perlakuan panas pada temperatur penuangan 800 °C

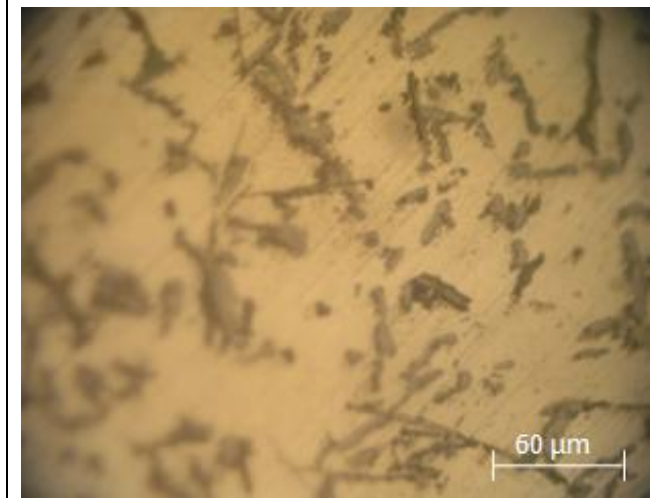
Waktu Aging 5 Jam



Temperatur Aging 100 °C



Temperatur Aging 155 °C



Temperatur Aging 200 °C

Gambar 4.19 c. Struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas dengan temperatur penuangan 800 °C dan waktu aging 5 jam

4.4.3.2 Pembahasan hasil pengujian struktur mikro material piston 50%PB + 50%ADC 12 hasil setelah proses perlakuan panas pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800 °C

Pada pengamatan stuktur mikro terhadap material piston 50%PB + 50%ADC12 setelah proses perlakuan panas, diperoleh beberapa data seperti berikut:

- 1) Perlakuan panas menyebabkan perubahan bentuk struktur mikro paduan Al-Si. Hal ini terlihat baik pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800 °C dimana terdapat perbedaan bentuk struktur mikro sebelum dan sesudah perlakuan panas. Perubahan yang terjadi akibat proses perlakuan panas dimungkinkan karena pemanasan yang diberikan memberi peluang atom untuk bergerak dan menata letaknya, sehingga bentuk struktur atom setelah proses perlakuan panas menjadi lebih tertata.
- 2) Pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800 °C, seiring dengan penambahan waktu aging bentuk matrik Si menjadi tertata dan kelihatan lebih rapat. Struktur mikro yang kelihatan tertata seiring dengan pertambahan waktu aging dikarenakan Zona GP yang terbentuk terus berkembang baik dari segi ukuran, maupun jumlahnya. Perlakuan panas menyebabkan presipitat bertambah besar dan jumlah juga bertambah banyak, hal ini menyebabkan jarak antar partikel presipitat semakin rapat. Presipitat yang rapat inilah yang kemudian bertindak sebagai penghalang terjadinya dislokasi William, (1993:464-466). Sehingga ketika terjadi deformasi maka, akan sulit terjadi dislokasi. Hasil struktur mikro ini memperkuat hasil pengujian kekerasan dimana seiring bertambahnya waktu aging kekerasan paduan Al-Si menjadi meningkat.
- 3) Kenaikan temperatur aging dapat memperbaiki susunan struktur mikro. Hal ini terlihat pada gambar struktur mikro temperatur aging 100 °C dan 155 °C. Dimana bentuk struktur mikro temperatur aging 155 °C lebih tertata dan merata matrik Si – nya dibandingkan pada paduan 100 °C. Akan tetapi pada temperatur aging 200 °C bentuk struktur mikronya tidak lebih baik dibandingkan pada temperatur aging 155 °C. bentuk seperti ini tidak hanya pada temperature penuangan 700 °C saja, tetapi pada temperatur 750 °C dan

800 °C juga sama. Kondisi yang demikian itu dimungkinkan seiring peningkatan temperatur aging presipitat tumbuh dan bertambah banyak. Ketika temperatur aging sampai pada batas *peak aged* akan terbentuk presipitat metastabil. Jika sampai kondisi ini temperatur dinaikan lagi maka presipitat yang terbentuk akan menggabung dan menjadi inkoheren dengan matriknya. Sehingga pada pengujian kekerasan pada temperatur aging 155 °C didapat hasil yang paling optimum sedangkan pada temperatur 200 °C hasil kekerasan lebih rendah dibandingkan pada temperatur 155 °C.

- 4) Jika dilihat perbedaan bentuk struktur mikro antara temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800 °C, terlihat bahwa struktur mikro pada temperatur penuangan 700 °C memiliki bentuk matrik Si yang lebih tertata. Hal ini dikarenakan pada temperatur penuangan 700 °C memiliki solidifikasi yang lebih cepat dibandingkan dengan temperatur penuangan 750 °C dan 800 °C. sehingga paduan 700 °C memiliki jarak antar butir kristal yang lebih rapat. Ketika dilakukan perlakuan panas maka struktur mikro pada temperatur 700°C tertata lebih cepat dan lebih merata.

4.5 Studi Komparasi Material Piston Berbasis Material Piston Bekas dengan Material Piston Asli

Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa dengan perlakuan panas, dapat memperbaiki dan meningkatkan sifat mekanis paduan piston 50%PB + 50%ADC12. Sehingga paduan material piston 50%PB + 50% ADC12 mempunyai sifat mekanis yang mendekati dengan Standar A. 333.0 dan Piston asli. Perbandingan karakteristik hasil perlakuan panas material piston 50%PB + 50%ADC12 dengan piston asli dan standar paduan A. 333.0 dapat diuraikan sebagai berikut:

4.6.1 Perbandingan Komposisi Kimia

Secara komposisi kimia dengan penambahan ADC 12 dapat meningkatkan % Si dan memperbaiki komposisi kimia. Sehingga hasil pengecoran piston bekas dengan penambahan ADC12 khususnya untuk paduan 50% PB + 50% ADC. Hasil perbandingan komposisi kimia ini dapat dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4.17 Perbandingan komposisi kimia material piston 50%PB + 50%ADC12 dengan piston asli dan standar paduan AA 333.0.

Paduan	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Lain Lain
<i>Piston Asli</i>	84.19	10.7	0.465	0.981	0.041	1.15	0.032	2.29	0.016	
<i>50% PB +50% ADC12</i>	86,52	8,61	0,897	1,19	0,225	0,767	0,047	1,05	0,532	
AA.333.0	Bal	8-10	1,0	3-4	0,5	0,05-0,5	-	0,5	<0,1	

4.6.2 Perbandingan Kekerasan dan kekuatan tarik

Setelah dilakukan perlakuan panas, kekerasan dan kekuatan tarik material piston berbasis limbah piston bekas mengalami kenaikan. Perlakuan panas yang menghasilkan nilai kekerasan dan kekuatan tarik yang optimal dan diatas kekerasan material piston asli adalah pada perlakuan panas dengan temperatur aging 155 °C dan waktu aging 5 jam (Tabel 4.18).

Tabel 4.18 Perbandingan kekerasan dan kekuatan tarik material piston berbasis limbah piston bekas dengan kekerasan piston asli

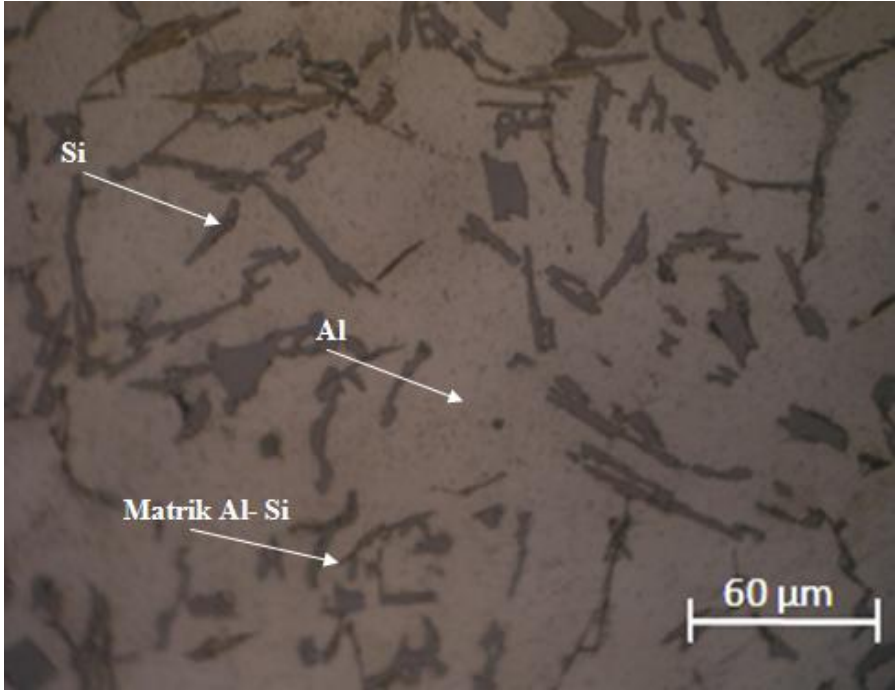
No	Paduan Aluminium		Kekerasan HRB	Kekuatan Tarik (Kpsi)
1	Piston Asli Buatan Jepang		76,0	68,0
2	Paduan AA.333.0		67,0	59,0
3	Temp. Penuangan 700 °C	Paduan 50%PB +50%ADC12 Pada : Temp. Aging = 155 °C Waktu Aging = 5 Jam	81,1	74,9
4	Temp. Penuangan 750 °C	Paduan 50%PB +50%ADC12 Pada : Temp. Aging = 155 °C Waktu Aging = 5 Jam	80,0	73,6
5	Temp. Penuangan 800 °C	Paduan 50%PB +50%ADC12 Pada : Temp. Aging = 155 °C Waktu Aging = 5 Jam	79,3	72,7

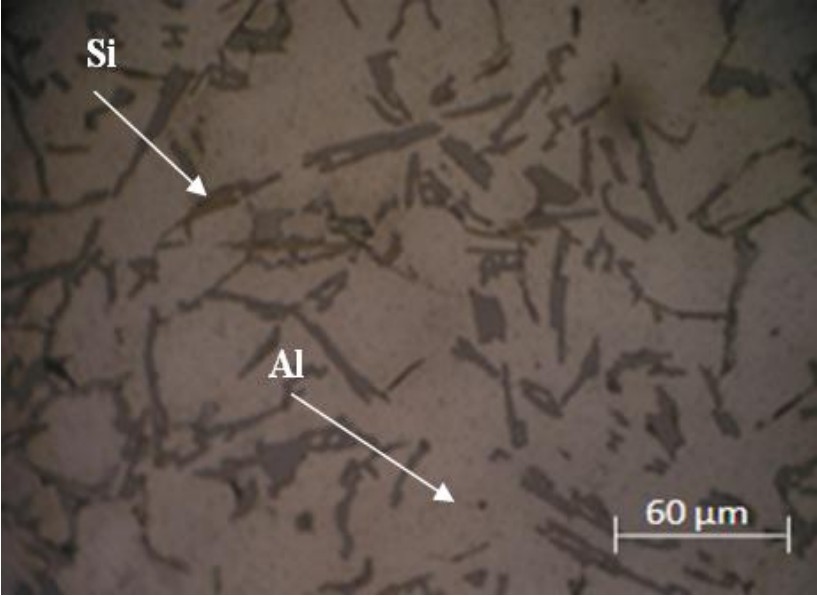
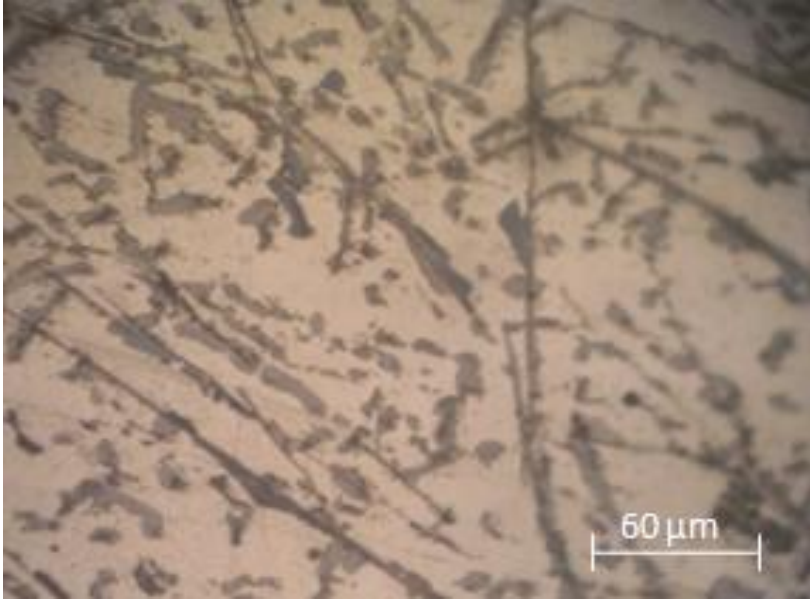
Hasil perbandingan pada Tabel 4.18 menunjukkan bahwa dengan perlakuan panas dapat meningkatkan sifat kekerasan dan kekuatan tarik material piston 50%PB + 50%ADC 12. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perlakuan panas dapat digunakan sebagai metode atau cara untuk meningkatkan kualitas material piston hasil daur ulang dari piston bekas.

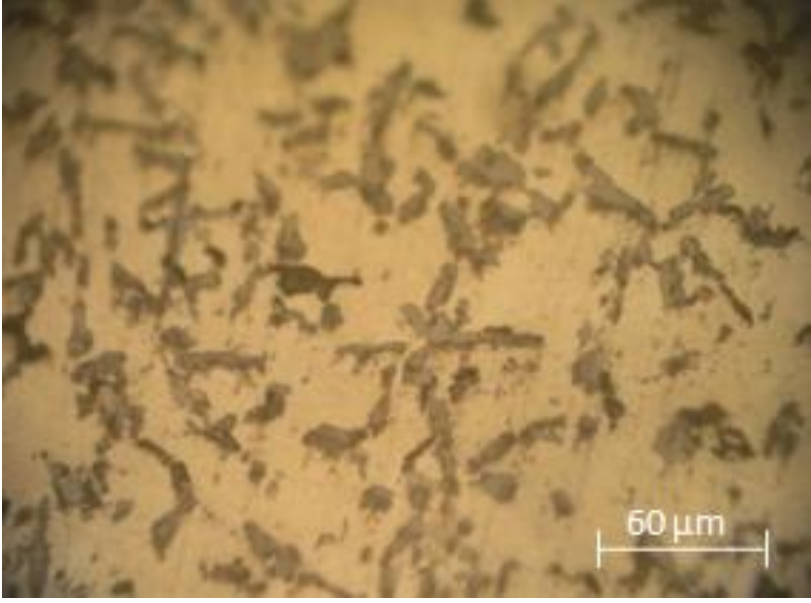
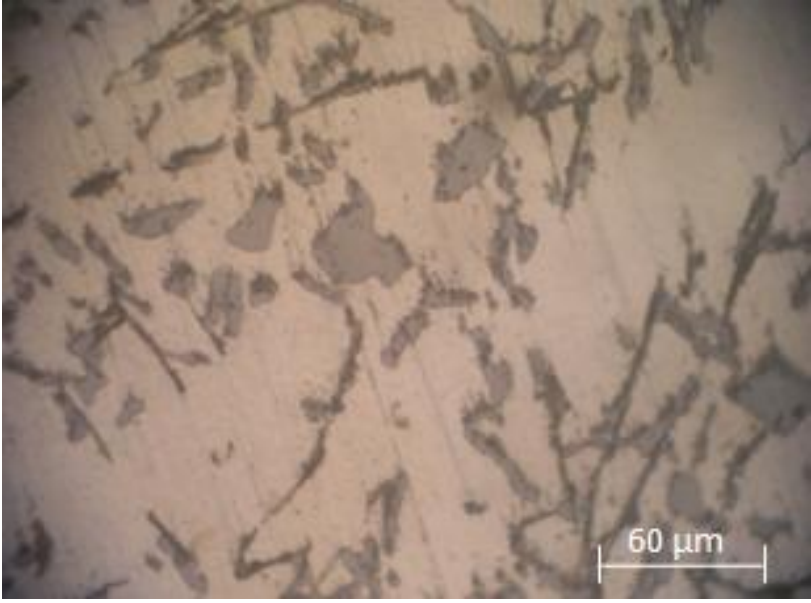
4.6.3 Perbandingan Struktur mikro

Dari pengamatan struktur mikro dengan adanya perlakuan panas menunjukkan struktur atom khususnya Si dalam matrik Al paduan 50% PB + 50% ADC tertata lebih rapat dan tersebar merata. Perlakuan panas yang menghasilkan struktur atom dengan formasi terbaik dari struktur mikro awal adalah pada temperatur aging 155 °C dan waktu aging 5 jam (Tabel 4.19)

Tabel 4.19 Perbandingan struktur mikro material piston berbasis piston bekas dengan struktur mikro piston asli

No	Struktur Mikro Paduan Aluminium
1	 <p>The micrograph shows a dark matrix with numerous small, dark, irregularly shaped particles. Three arrows point to specific features: 'Si' points to a small, dark, elongated particle; 'Al' points to a larger, dark, irregularly shaped particle; and 'Matrik Al- Si' points to the dark matrix. A scale bar in the bottom right corner indicates 60 μm.</p>
	Piston Asli

2	 <p data-bbox="501 972 1241 1008">Paduan 50% PB +50% ADC12 Sebelum perlakuan panas</p>
3	
Temp. Penuangan 700 °C	Paduan 50% PB +50% ADC12 Pada : Temp. Aging = 155 °C Waktu Aging = 5 Jam

4	
Temp. Penuangan 750 °C	Paduan 50% <i>PB</i> +50% <i>ADC12</i> Pada : Temp. Aging = 155 °C Waktu Aging = 5 Jam
5	
Temp. Penuangan 800 °C	Paduan 50% <i>PB</i> +50% <i>ADC12</i> Pada : Temp. Aging = 155 °C Waktu Aging = 5 Jam

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Proses perlakuan panas dapat meningkatkan kekerasan material piston 50% PB + 50% ADC 12, baik pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C, maupun 800 °C.
2. Setelah proses perlakuan panas nilai kekerasan material piston 50% PB + 50% ADC12 dapat meningkat dan beberapa hasil pengujian memiliki kekerasan yang sama dan bahkan diatas kekerasan piston asli yaitu 76 HRB. Hasil perlakuan panas yang menghasilkan nilai kekerasan \geq kekerasan piston asli adalah perlakuan panas dengan temperatur aging 155 °C dengan waktu aging 2, 4 dan 5 jam
3. Pada temperatur *aging* 100 °C sampai 155 °C kekerasan hasil perlakuan panas material piston 50% PB + 50% ADC12 menunjukkan kecenderungan menghasilkan nilai kekerasan yang meningkat. Tetapi setelah temperatur aging 155 °C grafik menunjukkan kecenderungan menghasilkan nilai kekerasan yang menurun. Sehingga kekerasan optimal didapatkan pada temperatur aging 155 °C.
4. Proses *artificial aging* menyebabkan perubahan bentuk struktur mikro paduan Al-Si, baik pada temperatur penuangan 700 °C, 750 °C dan 800 °C dimana terdapat perbedaan bentuk struktur mikro sebelum dan sesudah perlakuan panas.

5.2 Saran

1. Pengecoran piston pada penelitian ini menggunakan metode penuangan gravitasi, sehingga masih banyak diperlukan penelitian-penelitian lanjutan untuk mendalami proses pengecoran sentrifugal, cetak tekan, die casting yang dapat meningkatkan sifat mekaniknya

2. Pada material piston bekas banyak impuriti karena faktor kebersihan sehingga mempengaruhi sifat mekaniknya. Maka penelitian lanjutan pada material piston bekas yang sama perlu dilakukan pembersihan yang baik
3. Efektifitas penggunaan piston bekas yang dinilai efektif dan ekonomis dalam penelitian ini adalah pada paduan 50% PB + 50 % ADC. Hal ini dikarenakan dari beberapa pengujian menunjukkan bahwa 50% PB + 50 % ADC memiliki perbedaan yang tidak terlalu jauh jika dibandingkan dengan 25% PB + 75 % ADC. Maka penelitian lanjutan untuk melakukan proses perlakuan panas pada komposisi paduan 25% PB+ 75% ADC¹² sehingga dapat saling dikomparasi.

DAFTAR PUSTAKA

- ASM International. All Rights Reserved Aluminum-Silicon Casting Alloys: Atlas
Microfractographs, 2004
- ASM Handbook, Vol. 15
- ASM Metal Handbook Vol.8
- ASTM Handbook
- Budinski., 2001, "Engineering Materials Properties and Selection," PHI New Delhi, pp.
517–536.
- 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,
- B. H. Amstead, Teknologi Mekanik, Terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta, 1987
- Cole, G S., and Sherman, A. M., 1995, "Light weight materials for automotive
applications," Material Characterization, 35 (1) pp. 3–9.
- Callister, W. 2001, Fundamental of Materials Science and Engineering " Jhon Wiley &
Son Inc
- Durrant, G., Gallerneault, M., Cantor, B.,1996, "Squeeze cast aluminum reinforced with
mild steel inserts" J Mater Science, 31 pp. 589–602.
- D.Rajnovic, L.Sidjanin, 2007 " *Characretization of Microstructure in Commercial Al-Si
Piston Alloys* " Novysad, Serbia, 21000
- Djuana, Yiyi Komar, 2002, " *Pengaruh Temperatur Aging terhadap kekuatan mekanik
paduan Al-Cu 2024 untuk komponen teleskop peluncur roket*" Puslitbang LIPI,
Jakarta, Indonesia
- Duskiardi., Soejono Tjitro., Pengaruh Tekanan dan Temperatur *Die Proses Squeeze
Casting Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Material PistonKomersial
Lokal*
- Eided Wittaya,2007 " *Effect of Solution Treatment and Sr-Modification on
Microsructural and Mechanical Properties of Al-Si Piston alloys*, Bangkok,
2007
- Gwotzdz, Kwapisz , 2008, " *Influence of Ageing Process on the Microstructural and
Mechanical properties Al9%Si 3% Cu and 9% Si-0,4% Mg*, Jopkoping ,Swewen

- Haque, M. M., *et al.*, 2001, “*study on wear properties of aluminum – silicon piston alloy*,” *J Material processing technology* , 118 pp. 69–73.
- Haizhi Ye, 2002 “*An overview of the development of Al-Si-Alloys based material for Engine Applications* “, Alberta , Canada
- Hari subiyanto., subowo., (2008) *pengaruh temperatur penuangan aluminium A-356 pada proses pengecoran terhadap sifat mekanis dan struktur mikro coran*, Jakarta, Indonesia
- Immanuel Ginting, 1998, “*Penguatan dengan penghalusan butir pada paduan Hypoeutektik Al-Si 9,4 % Si* “ LIPI, Kompleks Puspiptong, Tangerang
- LA.Dobrzanski, W. Borek, R, Maniara, 2006 “*Influence of the crystallization condition on Al-Si-Cu casting alloys Structural*, Konarskiego, Poland
- MM Resources Limited , China
- Smith, F. William. 1995. *Material Science and engineering. (second edition)*. New York: Mc Graw- Hill inc.
- Surdia, Tata & Saito, Shinroku. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik. (edisi kedua)*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Surdia, T. dan Cijjiwa K, 1991, *Teknik Pengecoran Logam*, PT Pradnya Paramita, Jakarta
- Surdia, T. dan Shinroku, 1982, *Pengetahuan Bahan Teknik*,PT Pradnya Paramita, Jakarta
- Smallman, R.E., 1985, “*Metalurgi Fisik Modern*”, Gramedia, Jakarta, hal. 347
- Suhariyanto ., *Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC*, 2007
- T.V. Rajan, CP Sharma & Sharma Ashok, 1997 ” *Heat Treatment Principle And Trccnique* ” (revised edition), PHI New Delhi, pp. India
- Vaillant ,P., Petitet, J. P.,1995, “*Interactions under hydrostatic pressure of mild steel with liquid aluminum alloys*,”*JMater Science* 30 pp 4659–4668
- V, A. Srivastava and R. Shivpuri. *Intermetallic Formation and Its Relation toInterface Mass Loss and Tribology in Die CastingDies*, Elsevier B.V.New Zealand, 2003, p.2233
- Zeeren Muzaffer,2006 “*The effect heat treatment on aluminium based Piston Alloys*” Kocaeli University , Turkey

