



UNIVERSITAS DIPONEGORO

ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU PENAHANAN *AGE HARDENING* TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PISTON BEKAS PADUAN Al-Si-Cu-Mg YANG DICOR ULANG PADA TEMPERATUR PENUANGAN 700 °C

TUGAS AKHIR

**ARI MUSTHOFA
L2E 006 018**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN**

**SEMARANG
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

NAMA : Ari Musthofa

NIM : L2E 006018

Tanda Tangan :

Tanggal : 21 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

NAMA : Ari Musthofa
NIM : L2E 006 018
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Temperatur dan Waktu Penahanan *Age Hardening* terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Piston Bekas Paduan Al-Si-Cu-Mg yang Dicor Ulang pada Temperatur Penuangan 700 °C

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Sri Nugroho, ST, MT, PhD ()
Penguji : Ir. Sugiyanto, DEA ()
Penguji : Dr. Ir. AP. Bayu Seno, Msc ()
Penguji : Dr. Syaiful, ST, MT ()

Semarang, 21 Desember 2010

Ketua
Jurusan Teknik Mesin,

Dr.Ir.Dipl Ing Berkah Fajar TK.

NIP. 195907221987031003

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ari Musthofa
NIM : L2E 006 018
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Tugas Akhir

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“ANALISIS PENGARUH TEMPERATUR DAN WAKTU PENAHANAN AGE HARDENING TERHADAP KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADA PISTON BEKAS PADUAN AL-SI-CU-MG YANG DICOR ULANG PADA TEMPERATUR PENUANGAN 700 °C”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang
Pada Tanggal : 21 Desember 2010

Yang menyatakan

(**Ari Musthofa**)

ABSTRAK

Penggunaan paduan aluminium terus meningkat dari tahun ke tahun. 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 ferro*. Paduan aluminium sering digunakan pada komponen otomotif diantaranya adalah piston, blok mesin, *cylinder head*, *valve* dan lain sebagainya. Penggunaan paduan aluminium untuk komponen otomotif dituntut memiliki kekuatan yang baik. Disisi lain, produksi kendaraan bermotor di Indonesia terus meningkat sehingga banyak piston yang sudah tidak layak pakai terbuang menjadi limbah. Oleh karena itu perlu adanya daur ulang pengolahan piston bekas tersebut yang diharapkan dapat digunakan kembali pada kendaraan bermotor.

Penelitian ini dilakukan melalui kerja tim, yaitu dengan membagi penelitian menjadi tiga pembahasan. Ketiga pembahasan tersebut antara lain pembahasan tentang pembuatan piston yang berkaitan dengan teknik pengecorannya, analisa kekuatan mekanik piston dengan penambahan *insert* pada *ring groove* piston, serta proses perlakuan panas pada piston sehingga dapat meningkatkan sifat mekaniknya.

Penelitian ini akan membahas tentang perlakuan panas yakni pengaruh temperatur dan waktu penahanan pada proses perlakuan panas *precipitation hardening* paduan *Al-Si-Cu-Mg* yang dibuat dengan cara melebur piston bekas dan *ADC 12* dengan perbandingan massa 50%:50%, pada temperatur penuangan 700 °C. Proses *precipitation hardening* dilakukan dengan variasi temperatur *aging* 100, 155, dan 200 °C serta waktu penahanan 2, 4, dan 5 jam.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa paduan *Al-Si-Cu-Mg* yang dicor ulang tanpa proses *heat-treatment* memiliki rata-rata nilai kekerasan sebesar 60.2 HRB. Dan untuk paduan *Al-Si-Cu-Mg* yang telah melalui proses *solid solution* dan *quenching* mengalami penurunan nilai kekerasan menjadi 46.75 HRB. Sedangkan paduan *Al-Si-Cu-Mg* yang telah melalui proses *artificial aging* mengalami peningkatan nilai kekerasan dengan sebesar 82.5 HRB. Peningkatan nilai kekerasan yang paling optimal didapat pada temperatur *aging* 200 °C dengan waktu penahanan 5 jam yaitu 80.5 HRB dibanding nilai kekerasan pada temperatur *aging* 100 °C yang hanya 71.5 HRB dan temperatur *aging* 155°C sebesar 82 HRB dengan waktu penahanan yang sama.

Temperatur dan waktu penahanan pada proses *aging* mempengaruhi bentuk struktur mikro dimana semakin tinggi temperatur yang digunakan dan waktu penahanan yang semakin lama dalam proses *aging* maka presipitat yang dihasilkan akan semakin banyak dan mengalami pertumbuhan hingga mencapai kondisi yang paling optimal pada pertumbuhan presipitat paduan *Al-Si-Cu-Mg*. Dengan pertumbuhan presipitat dan jumlahnya yang banyak akan menghambat dislokasi sehingga akan mempengaruhi peningkatan kekerasan paduan *Al-Si-Cu-Mg*.

Kata kunci: paduan *Al-Si-Cu-Mg*, presipitat, *precipitate hardening*, komposisi kimia, kekerasan, struktur mikro

ABSTRACT

Use of aluminum alloy is increasing from year to year. This can be seen from the order of usage of aluminum alloy which ranks second after the usage of iron or steel, and the first the usage for non ferrous metals. Aluminum alloys are often used in automotive parts such as pistons, engine blocks, cylinder head, valve and so forth. The use of aluminum alloys for automotive components are required to have good strength. On the other hand, the production of vehicles in Indonesia is increasing so much the piston is not feasible using discarded into the waste. Therefore it is necessary to recycle the used pistons processing and can be used back on the vehicles.

This research was done through by team work, there are divide the study into three discussion. The discussion include discussion about the making of the piston with cast techniques, analysis of the mechanical strength in the piston with addition insert in the piston ring groove, and the process of heat treatment on the piston so as improve its mechanical properties.

This research will discuss heat treatment about the influence of temperature and holding time on the heat treatment process of precipitation hardening alloys of Al-Si-Cu-Mg made by melt piston and former ADC 12 with mass ratio 50%;50%, at the pouring temperature of casting is 700 °C. The precipitation hardening process was done by variation of the aging temperature 100, 155, and 200 °C also the holding time 2, 4, and 5 hour.

The results show that the alloy Al-Si-Cu-Mg is casted without heat-treatment process have an average hardness is 60.2 HRB. And for the alloy Al-Si-Cu-Mg, which have gone through the process of solid solution and quenching hardness value decrease to 46.75 HRB. While the alloy Al-Si-Cu-Mg, which have gone through the process of artificial aging hardness value increase is 82.5 HRB. The increasing in the most optimal hardness value is obtained when the aging temperature of 200 °C with holding time is 5 hours of 82.5 HRB than the increasing hardness on the aging temperature of 100 °C is only 71.5 HRB and aging temperature of 155 °C is 82 HRB with the same holding time.

The temperature and holding time on the aging affects the microstructure which forms the higher the temperature used and the longer the detention time in the aging process so the result of precipitate will increase and grew up to achieve the most optimal condition on the precipitate growth of Al-Si-Cu-Mg alloys. With the growth of the precipitate will inhibit many dislocations that will affect the increase in hardness of Al-Si-Cu-Mg alloys.

Key words: alloy of Al-Si-Cu-Mg, precipitates, precipitation hardening, chemical composition, hardness, microstructure.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas rahmat, taufik, hidayah dan kekuatan sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Sarjana ini. Tugas Sarjana yang berjudul **“Analisis Pengaruh Temperatur dan Waktu Penahanan *Age Hardening* terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Piston Bekas Paduan *Al-Si-Cu-Mg* yang Dicor Ulang pada Temperatur Penuangan 700 °C”** ini dimaksudkan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Pendidikan Tingkat Sarjana Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.

Dalam kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan selama penyusunan Tugas Sarjana ini, antara lain:

1. Bapak Sri Nugroho, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan masukan kepada penulis untuk menyusun Tugas Sarjana ini..
2. Kedua orang tuaku yang telah memberikan dukungan, semangat, doa yang tulus ikhlas dan kepercayaan untuk mengemban amanah yang mulia ini.
3. Bapak Fuad Abdillah, Bapak Solechan dan Bapak Nur Hadi, yang telah memberikan banyak hal dalam pelaksanaan penelitian.
4. Teman seperjuanganku Yusuf Hambali, *Without you guys, I'm nothing, Keep the faith and good luck for you.*
5. Teman-teman seangkatan 2006 dan semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya Tugas Sarjana ini.

Dengan penuh kerendahan hati, penyusun menyadari akan kekurangan dan keterbatasan pengetahuan yang penyusun miliki sehingga tentu saja penyusunan Tugas Sarjana ini jauh dari sempurna, untuk itu penyusun mengharapkan saran dan kritik yang membangun dari semua pihak demi kemajuan penulis untuk masa yang akan datang.

Semarang, Desember 2010

Penulis

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Motto:

- Sesungguhnya Allah tidak merubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka merubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap sesuatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya; dan sekali-kali tak ada pelindung bagi mereka selain Dia.

{ AL Qur'an Surat Ar'd Ayat 11 }

- Barang siapa yang oleh Allah dikehendaki menjadi baik maka ia akan di uji oleh-Nya

{ Al - Hadits }

- Orang-orang yang suka memudahkan urusan orang lain maka Allah akan memudahkan urusannya dan sebaliknya.

Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada :

- Bapak H. Ahmad Daryono (alm) dan Ibu Hj. Sumingah yang telah sabar membesarkan aku, cinta dan kasih sayangnya sepanjang masa serta doa restunya yang selalu menyertaiku.
- Kakak dan Adikku yang telah memberikan dukungan dan bantuan hingga selesainya Tugas Sarjana ini.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN TUGAS SARJANA.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN ABSTRAK.....	vii
HALAMAN <i>ABSTRACT</i>	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Alasan Pemilihan Judul.....	2
1.3 Tujuan Penulisan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI.....	6
2.1 Aluminium	6
2.2 Silikon	7
2.3 Paduan Aluminium.....	8
2.4 Paduan Cor Aluminium Seri 3xx.x(<i>Al-Si-Cu-Mg</i>).....	13
2.5 <i>Precipitation hardening</i>	17
2.6 Perlakuan Panas (<i>heat treatment</i>).....	19
2.7 Kekerasan.....	27

2.8	Mikrografi	41
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		50
3.1	Diagram Alir Penelitian	50
3.2	Peralatan yang Digunakan.....	53
3.3	Pembuatan Spesimen	60
3.4	Pengujian Spesimen	63
3.4.1	Pengujian Komposisi Kimia	63
3.4.2	Pengujian <i>Precipitation Hardening</i>	65
3.4.3	Pengujian Kekerasan.....	66
3.4.4	Pengujian Struktur Mikro.....	67
BAB IV ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN		70
4.1	Pengujian Komposisi Kimia	70
4.2	Pengujian Kekerasan dan Struktur Mikro	72
4.2.1	Data Temperatur <i>Aging</i> 100 °C.....	72
4.2.2	Data Temperatur <i>Aging</i> 155 °C.....	73
4.2.3	Data Temperatur <i>Aging</i> 200 °C.....	74
4.2.4	Data Nilai Kekerasan setelah Proses <i>Solid Solution</i> dan <i>Quenching</i>	75
4.2.5	Data Nilai Kekerasan pada Piston Bekas.....	75
4.3	Analisa Pengaruh Temperatur pada Proses <i>Aging</i> terhadap Nilai Kekerasan (HRB).....	78
4.4	Analisa pengaruh Waktu Penahanan pada Proses <i>Aging</i> terhadap Nilai Kekerasan (HRB).....	83
4.5	Analisa pengaruh Temperatur dan Waktu Penahanan pada Proses <i>Aging</i> terhadap Struktur Mikro	87
4.5.1	Analisa Struktur Mikro paduan Al seri 3xx.x pada Temperatur <i>Aging</i> 100 °C	88
4.5.2	Analisa Struktur Mikro paduan Al seri 3xx.x pada Temperatur <i>Aging</i> 155 °C	90

4.5.3	Analisa Struktur Mikro paduan Al seri 3xx.x pada Temperatur <i>Aging</i> 200 °C	92
4.6	Korelasi Temperatur Penuangan terhadap Nilai kekerasan dan Struktur mikro	94
4.7	Korelasi Temperatur Penuangan terhadap Proses <i>Aging</i>	94
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		98
5.1	Kesimpulan	98
5.2	Saran.....	98
DAFTAR PUSTAKA		100
LAMPIRAN		100

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sifat fisik silikon.....	7
Gambar 2.2 (a) Diagram fasa paduan <i>Al-Si</i> . (b) Struktur mikro dari <i>hypoeutectic alloy</i> (1.65-12.6 wt% <i>Si</i>) 150x. (c) Struktur mikro dari <i>eutectic alloy</i> (12.6 wt% <i>Si</i>) 400x. (c) Struktur mikro dari <i>hypereutectic alloy</i> (>12.6%wt% <i>Si</i>) 150x	15
Gambar 2.3 Diagram fasa <i>Al-Cu</i>	16
Gambar 2.4 Diagram fasa <i>Al-Mg</i>	17
Gambar 2.5 Hubungan temperatur dengan waktu pada proses <i>precipitation hardening</i>	18
Gambar 2.6 Hubungan nilai kekerasan terhadap waktu aging pada proses <i>precipitation hardening</i>	19
Gambar 2.7 Diagram fasa dari suatu paduan yang dapat dilakukan <i>solution treatment</i>	21
Gambar 2.8 Tahap dalam <i>age hardening</i> dan perubahan fasa-fasa paduan.....	22
Gambar 2.9 Tahap-tahap perubahan fasa pada proses <i>aging</i>	23
Gambar 2.10 Hubungan nilai kekerasan dengan waktu terhadap fasa yang terbentuk pada proses aging	24
Gambar 2.11 (a) <i>Supersaturated solid solution</i> , (b) fasa θ ” mulai terbentuk <i>precipitate (Al-Cu)</i> , (c) fasa keseimbangan θ <i>Al-Cu</i>	25
Gambar 2.12 Kurva hubungan waktu dengan kekuatan dan kekerasan paduan aluminium pada proses <i>age hardening</i>	27
Gambar 2.13 Mohs.....	29
Gambar 2.14 <i>Scratch hardness</i>	30
Gambar 2.15 a. Pengukuran kekerasan <i>shore scleroscope</i> b. Alat uji <i>shore scleroscope</i>	31
Gambar 2.16 Metode Brinell.....	32
Gambar 2.17 Brinell tester	34
Gambar 2.18 Pengukuran kekerasan Brinell.....	35

Gambar 2.19 Proses pengukuran nilai kekerasan Rockwell	36
Gambar 2.20 Macam –macam lekukan yang dihasilkan penetrator intan	40
Gambar 2.21 Pengukuran kekerasan Vickers	41
Gambar 2.22 Perbandingan ukuran dan teknik pengukuran pada uji mikrografi	42
Gambar 2.23 Struktur kubik pemusatan ruang logam. Bagian (a) Model bola keras (b) gambaran skematik dan terlihat letak atom pada titik pusat.....	43
Gambar 2.24 Struktur kubik pemusatan sisi pada logam. Bagian (a) model bola keras (b) pandangan skematis yang memperlihatkan letak pusat atom ..	43
Gambar 2.25 Struktur kristal <i>Hexagonal Closed Packed</i>	44
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian.....	51
Gambar 3.2 Cetakan permanen dari piston	54
Gambar 3.3 Kowi	54
Gambar 3.4 <i>Burner</i> yang terpasang pada rangka	55
Gambar 3.5 Timbangan.....	55
Gambar 3.6 <i>Digital set thermocouple</i>	56
Gambar 3.7 <i>Furnace chamber Hofmann type K</i>	56
Gambar 3.8 Panci dan air sebagai alat dan media pendingin.....	57
Gambar 3.9 Oven	57
Gambar 3.10 <i>Rockwell Hardness Tester Model HR 150-A</i>	58
Gambar 3.11 Mesin amplas dan poles	58
Gambar 3.12 Mikroskop dan kamera.....	59
Gambar 3.13 Spektrometri	59
Gambar 3.14 Piston bekas.....	59
Gambar 3.15 Aluminium ADC 12	60
Gambar 3.16 Penimbangan ADC 12 dan piston bekas dengan perbandingan 50%:50%	60
Gambar 3.17 Penuangan paduan aluminium cair ke dalam cetakan.....	61
Gambar 3.18 Pelepasan piston pada cetakan	61
Gambar 3.19 Piston hasil coran yang telah dipotong risernya.....	62
Gambar 3.20 Pengambilan sampel sebagai spesimen pengujian.....	62
Gambar 3.21 Spesimen pengujian perlakuan panas dan pengujian kekerasan	63

Gambar 3.22 Potongan aluminium yang telah diberi resin.....	63
Gambar 3.23 Spesimen pengujian kekerasan.....	66
Gambar 3.24 Spesimen pengujian struktur mikro.....	69
Gambar 4.1 Distribusi kekerasan pada spesimen piston bekas.....	76
Gambar 4.2 Distribusi nilai kekerasan pada piston.....	77
Gambar 4.3 Distribusi temperatur operasi pada piston.....	77
Gambar 4.4 Pengaruh temperatur operasi piston terhadap nilai kekerasan	77
Gambar 4.5 Grafik perbandingan nilai kekerasan terhadap temperatur <i>aging</i> pada waktu penahanan 2 jam	78
Gambar 4.6 Grafik pengaruh perlakuan panas pada proses <i>precipitation hardening</i> terhadap nilai kekerasan pada waktu penahanan 2 jam.....	79
Gambar 4.7 Grafik Grafik perbandingan nilai kekerasan terhadap temperatur <i>aging</i> pada waktu penahanan 4 jam	80
Gambar 4.8 Grafik pengaruh perlakuan panas pada proses <i>precipitation hardening</i> terhadap nilai kekerasan pada waktu penahanan 4 jam.....	80
Gambar 4.9 Grafik Grafik perbandingan nilai kekerasan terhadap temperatur <i>aging</i> pada waktu penahanan 5 jam	82
Gambar 4.10 Grafik pengaruh perlakuan panas pada proses <i>precipitation hardening</i> terhadap nilai kekerasan pada waktu penahanan 5 jam	82
Gambar 4.11 Grafik hubungan waktu penahanan terhadap nilai kekerasan pada temperatur <i>aging</i> 100 °C	84
Gambar 4.12 Grafik hubungan waktu penahanan terhadap nilai kekerasan pada temperatur <i>aging</i> 155 °C	85
Gambar 4.13 Grafik hubungan waktu penahanan terhadap nilai kekerasan pada temperatur <i>aging</i> 200 °C	86
Gambar 4.14 Struktur mikro paduan aluminium cor <i>eutectic</i> silicon. a), b), dan c) struktur mikro yang diambil dengan menggunakan SEM dengan perbesaran yang berbeda, presipitat Mg_2Si terlihat dengan warna yang lebih gelap pada matriks aluminium- α , d) struktur mikro yang diambil dengan mikroskop optik, presipitat dari unsur paduan tidak terlihat	88

Gambar 4.15 Struktur mikro paduan Al seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 100 °C dengan waktu penahanan (a) 2 jam (b) 4 jam dan (c) 5 jam. 100x	89
Gambar 4.16 Struktur mikro paduan Al seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 155 °C dengan waktu penahanan (a) 2 jam (b) 4 jam dan (c) 5 jam. 100x	90
Gambar 4.17 Struktur mikro paduan Al seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 200 °C dengan waktu penahanan (a) 2 jam (b) 4 jam dan (c) 5 jam. 100x	92
Gambar 4.18 Hubungan temperatur penuangan terhadap nilai kekerasan dan hasil pengecoran	94
Gambar 4.19 Grafik porositas material piston berbasis limbah material piston bekas.....	95
Gambar 4.20 Struktur mikro dari spesimen yang dituang pada temperatur (a) 700°C, (b) 750°C dan (c) 800°C	96
Gambar 4.21 Grafik korelasi antara temperature penuangan terhadap penuaan (<i>aging</i>) pada temperature 155 °C	97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sifat fisik Aluminium	6
Tabel 2.2 Kelompok paduan aluminium cor (<i>casting alloys</i>)	10
Tabel 2.3 Kelompok paduan aluminium tempa (<i>wrought alloys</i>).....	12
Tabel 2.4 Beberapa karakteristik paduan <i>Al-Si-Cu-Mg</i>	13
Tabel 2.5 Skala Mohs.....	29
Tabel 2.6 Kondisi uji Brinell.....	34
Tabel 2.7 Keterangan gambar proses pengukuran nilai kekerasan Rockwell.....	37
Tabel 2.8 Skala kekerasan Superficial Rockwell.....	38
Tabel 2.9 Skala kekerasan Rockwell	39
Tabel 2.10 Berbagai macam struktur kristal	44
Tabel 4.1 Hasil pengujian komposisi kimia pada bahan material.....	70
Tabel 4.2 Data-data paduan aluminium cor seri AA333.0.....	71
Tabel 4.3 Hasil pengujian kekerasan dan struktur mikro pada spesimen 1	72
Tabel 4.4 Hasil pengujian kekerasan dan struktur mikro pada spesimen 2	73
Tabel 4.5 Hasil pengujian kekerasan dan struktur mikro pada spesimen 3	74
Tabel 4.6 Hasil pengujian kekerasan setelah proses <i>solid solution</i> dan <i>quenching</i> ...	75
Tabel 4.7 Hasil pengujian kekerasan pada piston bekas	75
Tabel 4.8 Perbandingan nilai kekerasan pada setiap temperatur penuangan.....	94