



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**ANALISIS PENGARUH PROSES *PRECIPITATION HARDENING* TERHADAP
NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN
PISTON BEKAS DAN *ADC 12* YANG DICOR ULANG PADA
TEMPERATUR PENUANGAN 750 °C**

TUGAS AKHIR

YUSUF HAMBALI

L2E 006 095

**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 : Yusuf Hambali

NIM : L2E 006095

Tanda Tangan :

Tanggal : 20 Desember 2010

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Yusuf Hambali
NIM : L2E 006 095
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 PROSES *PRECIPITATION HARDENING* TERHADAP NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN PISTON BEKAS DAN ADC 12 YANG DICOR ULANG PADA TEMPERATUR PENUANGAN 750 °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 : 20 Desember 2010

Yang menyatakan

(**Yusuf Hambali**)




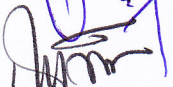
HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

NAMA : Yusuf Hambali
NIM : L2E 006 095
Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Proses *Precipitation Hardening* terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Piston Bekas dan ADC 12 yang Dicor Ulang pada Temperatur Penuangan 750 °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 : Ir. Yurianto, MT ()
Penguji : Dr. Syaiful, ST, MT ()

Semarang, 20 Desember 2010

Ketua
Jurusan Teknik Mesin,


Dr. Ir. Dipl. Ing. Berkah Fajar TK.

NIP. 195907221987031003

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

Agama tanpa ilmu adalah buta. Ilmu tanpa agama adalah lumpuh
Religion without science is blind. Science without religion is paralyzed

Di tengah kesulitan terdapat kesempatan
In the middle of difficulty lies opportunity

(Albert Einstein)

Sesungguhnya beserta dengan kesukaran adalah kemudahan

(Al-Qur'an Surat Al-Insyirah Ayat 5-6)

Berusahalah seimbang dalam hal ilmu dan agama kawan, dengan begitu merupakan sebenar-benarnya manusia. Dan janganlah mudah menyerah karena Allah tidak mencintai orang-orang yang berputus asa.

Tugas Akhir ini penulis persembahkan kepada:

1. Bapak Begananda dan Ibu Sri Widarni yang telah banyak berjasa dalam hidup saya, dan yang telah memberikan segala hal dalam kehidupan saya, serta kepada kakakku yang telah memberi dukungan dan bantuan kepada saya hingga terselesaikannya Tugas Sarjana ini.
2. Kepada semua orang yang mencintai ilmu pengetahuan, semoga Tugas Sarjana ini dapat menjadi inspiratif bagi kalian semua.

**ANALISIS PENGARUH PROSES *PRECIPITATION HARDENING* TERHADAP
NILAI KEKERASAN DAN STRUKTUR MIKRO PADUAN
PISTON BEKAS DAN *ADC 12* YANG DICOR ULANG PADA
TEMPERATUR PENUANGAN 750 °C**

Abstrak

Di industri otomotif, aluminium sering digunakan sebagai material piston pada kendaraan bermotor. Disisi lain, produksi kendaraan bermotor di Indonesia terus bertambah dari tahun ke tahun, sehingga banyak sekali piston yang sudah tidak layak pakai terbuang menjadi limbah. Oleh karena itu perlu adanya pengolahan kembali limbah-limbah tersebut menjadi piston daur ulang yang diharapkan dapat digunakan kembali pada kendaraan bermotor. Penelitian ini merupakan sebuah kerja tim dari penelitian besar dengan tema utama karakterisasi material piston dan pengembangan prototipe berbasis limbah piston bekas.

Penelitian ini akan membahas tentang pengaruh temperatur dan waktu penahanan pada proses perlakuan panas *precipitation hardening* paduan aluminium cor seri 3xx.x (*Al-Si-Cu-Mg*) yang dibuat dengan cara melebur piston bekas dan *ADC 12* dengan perbandingan massa yang sama, pada temperatur penuangan 750°C. Produk cor tersebut kemudian dibagi menjadi beberapa spesimen untuk dilakukan proses *precipitation hardening* dengan variasi temperatur *aging* 100°C, 155°C, 200°C dan waktu penahanan 2, 4, 5 jam. Karakterisasi produk cor yang dilakukan meliputi pengujian komposisi kimia, pengujian nilai kekerasan serta pengujian struktur mikro.

Hasil pengujian menunjukkan produk cor tersebut merupakan material piston aluminium cor dengan kodifikasi AA333.0. Nilai kekerasan tertinggi berada pada temperatur *aging* 155°C dengan waktu penahanan 5 jam yaitu sebesar 80,5 HRB. Hal tersebut disebabkan pada temperatur dan waktu penahanan tersebut terjadi pertumbuhan presipitat θ'' (*GP2*) pada unsur paduan yang membentuk fasa baru pada matriks aluminium- α + *eutectic Si* sehingga presipitat tersebut dapat menghambat pergerakan dislokasi pada paduan. Fenomena *overaging* terjadi pada spesimen yang mengalami *aging* pada temperatur 200°C setelah 4 jam penahanan. Pertumbuhan presipitat pada kondisi *overaging* telah melewati batas optimalnya sehingga paduan mengalami penurunan sifat mekanik dari keadaan optimalnya.

Kata kunci: *Precipitation hardening, solution heat treatment, quenching, aging, presipitat, waktu penahanan, komposisi kimia, kekerasan, struktur mikro.*

EFFECT OF PRECIPITATION HARDENING ON HARDNESS AND MICROSTRUCTUR OF RE-CAST USED PISTON AND ADC 12 WITH POURING TEMPERATUR 750°C

Abstract

In the automotive industry, aluminum is often used as a piston material in automotive engine. Production of vehicles in Indonesia is growing rapidly, so that many of the pistons which is not feasible to use wasted. Hence the need for reprocessing wasted into recycling piston which is expected to be used in motor vehicles. Piston recycling does not guarantee good mechanical properties; therefore it is necessary to heat treatment process so as to improve its mechanical properties.

These researches discuss the influence of temperature and holding time on the process of precipitation hardening heat treatment. Materials used in this research were 50%wt used piston and 50%wt ADC 12. They were sand-casted and poured on steel dies at 750°C. Variation of aging temperature and holding time are as followed: 100-200 °C and 2-5 hours, respectively. Characterization of the products includes testing of chemical composition, hardness and microstructure examination.

The test results show cast product is a cast aluminum piston material with AA333.0 codification. The highest hardness values are at aging temperature of 155°C with holding time of 5 hours, amounting to 80.5 HRB. This caused the temperature and time detentions occurred θ'' (GP2) precipitates growth of alloying elements that form a new phase in the matrix of aluminum- α + eutectic Si, so these precipitates can hinder the movement of dislocations in the alloy. Over aging phenomenon occurs on specimens that have aging at a temperature of 200°C after 4 hours of detention. The growth of precipitates in over aging condition has crossed the line from the optimal condition so that decreased the mechanical properties of the alloy.

Keywords: *Precipitation hardening, solution heat treatment, quenching, aging, precipitate, holding time, chemical composition, hardness, microstructure.*

KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT yang telah mencurahkan rahmat dan hidayahnya sehingga saya dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir dengan judul **“Analisa Pengaruh Proses *Precipitation Hardening* terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro Paduan Piston Bekas dan ADC 12 yang Dicor Ulang dengan Temperatur Penuangan 750°C”** ini dengan lancar. Laporan Tugas Sarjana ini diajukan sebagai salah satu tugas dan syarat untuk memperoleh gelar Strata-1 (S-1) Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Penyelesaian Laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini saya mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Sri Nugroho, ST, MT, PhD selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan arahan dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan tugas sarjana ini.
2. Ayah, Ibu dan keluarga tercinta, karena atas doa dan bimbingannya saya dapat meraih cita-cita dan keberhasilan hingga saat ini.
3. Bapak Fuad Abdillah, Bapak Solechan dan Bapak Nur Hadi, yang telah memberikan banyak hal dalam pelaksanaan penelitian.
4. Ari Mustofa selaku rekan dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini, sebab dengan dukungan dan kerjasamanya tugas sarjana ini dapat berjalan dengan lancar.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini banyak kekurangannya, maka diharapkan kritik dan saran yang membangun dari siapapun yang membaca laporan ini. Akhir kata, tidak ada sesuatupun yang sempurna di dunia ini, karena kesempurnaan hanyalah milik Allah semata dan semoga Dia selalu membimbing kita ke jalan yang lurus.

Semarang, Agustus 2010

Penulis

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	xiv
DAFTAR TABEL	xx
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Alasan Pemilihan Judul	3
1.3 Tujuan Penulisan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Metodologi	6
1.6 Sistematika Penulisan	7

BAB II	DASAR TEORI	8
2.1	Aluminium	8
2.1.1	Sifat aluminium.....	10
2.1.2	Aluminium dan Paduannya	12
2.1.2.1	Paduan Tempa.....	13
2.1.2.2	Paduan Cor	15
2.1.3	Paduan Cor Aluminium Seri 3xx.x (<i>Al-Si-Cu-Mg</i>).....	18
2.2	<i>Precipitation Hardening</i>	21
2.2.1	Perlakuan Panas Pelarutan (<i>Solution Heat Treatment</i>)	24
2.2.2	Pendinginan Cepat (<i>Quenching</i>)	25
2.2.3	Penuaan (<i>Aging</i>).....	26
2.3	Kekerasan.....	30
2.3.1	Pengujian Kekerasan Rockwell (<i>HR</i>).....	31
2.3.2	Pengujian Kekerasan Brinell (<i>HB</i>).....	35
2.3.3	Pengujian Kekerasan Vickers (<i>HV</i>)	38
2.4	Mikrografi	40
2.4.1	Struktur Kristal.....	41
2.4.1.1	Struktur Kristal Pemusatan Ruang (<i>BCC</i>)	41
2.4.1.2	Struktur Kristal Pemusatan Kisi (<i>FCC</i>)	42
2.4.1.3	Struktur <i>Hexagonal Closed Packed</i> (<i>HCP</i>).....	42
2.4.2	Pengujian Struktur Makro	43
2.4.3	Pengujian Struktur Mikro.....	44
BAB III	METODE PENELITIAN	50

3.1	Diagram Alir Penelitian	50
3.2	Peralatan dan Bahan yang Digunakan.....	54
3.3	Pembuatan Spesimen	61
3.4	Pengujian Spesimen	65
3.4.1	Pengujian Komposisi Kimia	65
3.4.2	Pengujian <i>Precipitation Hardening</i>	66
3.4.3	Pengujian Kekerasan.....	67
3.4.4	Pengujian Struktur Mikro.....	70
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	72
4.1	Hasil Pengujian Komposisi Kimia.....	72
4.2	Pengujian Kekerasan dan Struktur Mikro	73
4.2.1	Data Temperatur Aging 100 °C.....	74
4.2.2	Data Temperatur Aging 155 °C.....	75
4.2.3	Data Temperatur Aging 200 °C.....	76
4.2.4	Data Nilai Kekerasan setelah Proses <i>Quenching</i>	77
4.2.5	Data Nilai Kekerasan Piston Bekas.....	77
4.3	Analisa Pengaruh Temperatur <i>Aging</i> Terhadap Nilai Kekerasan pada Proses <i>Age Hardening</i>	80
4.4	Analisa Pengaruh Waktu Penahanan terhadap Nilai Kekerasan pada Proses <i>Age Hardening</i>	85
4.5	Analisa Pengaruh Temperatur <i>Aging</i> Terhadap Struktur Mikro	88
4.5.1	Temperatur <i>Aging</i> 100°C.....	90
4.5.2	Temperatur <i>Aging</i> 155 °C.....	92
4.5.3	Temperatur <i>Aging</i> 200 °C.....	95

4.6	Korelasi Temperatur Penuangan terhadap Nilai Kekerasan dan Struktur Mikro.....	97
4.7	Korelasi Temperatur Penuangan terhadap Proses <i>Aging</i>	100
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	102
5.1	Kesimpulan	102
5.2	Saran.....	103
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN A Laporan Pengujian Komposisi	
	LAMPIRAN B Tabel Konversi Kekerasan	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	(a) Bauksit (Al_2O_3 , $Al(OH)_3$, $\gamma-AlO(OH)$, dan $\alpha-AlO(OH)$, (b) Permukaan aluminium murni 99,99%	1
Gambar 2.1	(a) Potassium (K), (b) Aluminium Chloride ($AlCl_3$).....	8
Gambar 2.2	(a) Alumina (Al_2O_3), (b) Aluminium murni 99,99%	9
Gambar 2.3	Diagram fasa paduan cor aluminium-silikon, komposisi <i>hypoeutectic</i> (<12,6%), <i>eutectic</i> (12,6%) dan <i>hypereutectic</i> (>12,6%).....	19
Gambar 2.4	Diagram fasa Al-Cu	20
Gambar 2.5	Diagram fasa Al-Mg	21
Gambar 2.6	Hubungan temperatur dengan waktu pada proses <i>precipitation hardening</i>	23
Gambar 2.7	Hubungan nilai kekerasan terhadap waktu <i>aging</i> pada proses <i>precipitation hardening</i>	23
Gambar 2.8	Diagram fasa dari suatu paduan yang dapat dilakukan <i>solution treatment</i>	25
Gambar 2.9	Tahap perubahan fasa pada proses <i>aging</i>	27
Gambar 2.10	Hubungan nilai kekerasan dengan waktu terhadap fasa yang terbentuk	27
Gambar 2.11	(a) <i>Supersaturated solid solution</i> , (b) fasa θ'' mulai terbentuk <i>precipitate</i> (Al-Cu), (c) fasa keseimbangan θ Al-Cu.....	28
Gambar 2.12	Prinsip pengukuran pengujian Rockwell, prinsip yang sama juga diterapkan untuk penetrator bola baja.....	32

Gambar 2.13	Skema <i>hardness Rockwell testing machine</i>	35
Gambar 2.14	Proses penetrasi pengujian Brinell.....	36
Gambar 2.15	<i>Computer scanning system</i> untuk mengukur bekas penetrasi.....	38
Gambar 2.16	Penetrator <i>diamond pyramid</i> pada pengujian Vickers	39
Gambar 2.17	Salah satu alat pengukuran panjang diagonal pada metode Vickers .	40
Gambar 2.18	Struktur kristal pemusatan ruang (<i>BCC/Body Centered Cubic</i>)	41
Gambar 2.19	Struktur kristal pemusatan sisi (<i>FCC/Face Centerd Cubic</i>)	42
Gambar 2.20	Struktur <i>Hexagonal Close Packed (HCP)</i>	43
Gambar 2.21	Makrostruktur aluminium cor perbesaran 1,5x.....	43
Gambar 2.22	Struktur mikro paduan tembaga seri 2600 perbesaran 75x.....	44
Gambar 2.23	Struktur mikro <i>ductile iron</i> perbesaran 500x menggunakan mikroskop <i>electron</i>	44
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	51
Gambar 3.2	<i>Burner</i> yang terpasang pada rangka.....	54
Gambar 3.3	Kowi.....	55
Gambar 3.4	Cetakan permanen dari piston.....	55
Gambar 3.5	Furnace chamber Hofmann Tipe-K	56
Gambar 3.6	<i>Digital set thermocouple type K</i>	56
Gambar 3.7	Panci dan air sebagai alat dan media pendingin	57
Gambar 3.8	Oven untuk proses <i>aging</i>	57
Gambar 3.9	<i>Rockwell Hardness Tester 150-A</i>	58

Gambar 3.10	Mesin amplas dan poles	58
Gambar 3.11	Mikroskop optik dan kamera digital	59
Gambar 3.12	Alat uji komposisi	59
Gambar 3.13	Piston bekas	60
Gambar 3.14	Aluminium ADC 12.....	60
Gambar 3.15	Penimbangan ADC 12 dan piston bekas dengan perbandingan masaa 1:1	61
Gambar 3.16	Penuangan aluminium cair ke dalam cetakan	62
Gambar 3.17	Pelepasan piston pada cetakan	62
Gambar 3.18	Piston hasil coran yang telah dipotong risernya.....	63
Gambar 3.19	Pengambilan sampel sebagai spesimen pengujian.....	63
Gambar 3.20	Spesimen pengujian perlakuan panas dan pengujian kekerasan.....	64
Gambar 3.21	Potongan aluminium yang telah diberi resin	64
Gambar 3.22	Spesimen pengujian kekerasan	68
Gambar 4.1	Distribusi nilai kekerasan pada piston	77
Gambar 4.2	Distribusi temperatur operasi pada piston.....	78
Gambar 4.3	Pengaruh temperatur operasi piston terhadap nilai kekerasan.....	78
Gambar 4.4	Distribusi kekerasan piston bekas	79
Gambar 4.5	Grafik perbandingan nilai kekerasan terhadap temperatur <i>aging</i> pada waktu penahanan 2 jam	80

Gambar 4.6	Grafik pengaruh perlakuan panas pada proses <i>precipitation hardening</i> terhadap nilai kekerasan pada waktu penahanan 2 jam	80
Gambar 4.7	Grafik perbandingan nilai kekerasan terhadap temperatur <i>aging</i> pada waktu penahanan 4 jam	82
Gambar 4.8	Grafik pengaruh perlakuan panas pada proses <i>precipitation hardening</i> terhadap nilai kekerasan pada waktu penahanan 4 jam	82
Gambar 4.9	Grafik perbandingan nilai kekerasan terhadap temperatur <i>aging</i> pada waktu penahanan 5 jam	84
Gambar 4.10	Grafik pengaruh perlakuan panas pada proses <i>precipitation hardening</i> terhadap nilai kekerasan pada waktu penahanan 5 jam	84
Gambar 4.11	Grafik hubungan waktu penahanan terhadap nilai kekerasan pada temperatur <i>aging</i> 100°C	85
Gambar 4.12	Grafik hubungan waktu penahanan terhadap nilai kekerasan pada temperatur <i>aging</i> 155°C	86
Gambar 4.13	Grafik hubungan waktu penahanan terhadap nilai kekerasan pada temperatur <i>aging</i> 200°C	87
Gambar 4.14	Struktur mikro paduan aluminium cor <i>eutectic silicon</i> . 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	89

Gambar 4.15	Struktur mikro Aluminium paduan seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 100°C dengan waktu penahanan 2 jam. 100x	90
Gambar 4.16	Struktur mikro Aluminium paduan seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 100°C dengan waktu penahanan 4 jam. 100x	91
Gambar 4.17	Struktur mikro Aluminium paduan seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 100°C dengan waktu penahanan 5 jam. 100x	92
Gambar 4.18	Struktur mikro Aluminium paduan seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 155°C dengan waktu penahanan 2 jam. 100x	95
Gambar 4.19	Struktur mikro Aluminium paduan seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 155°C dengan waktu penahanan 4 jam. 100x	93
Gambar 4.20	Struktur mikro Aluminium paduan seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 155°C dengan waktu penahanan 5 jam. 100x	93
Gambar 4.21	Struktur mikro Aluminium paduan seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 200°C dengan waktu penahanan 2 jam. 100x	95
Gambar 4.22	Struktur mikro Al paduan seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 200°C dengan waktu penahanan 4 jam. 100x	95
Gambar 4.23	Struktur mikro Aluminium paduan seri 3xx.x pada temperatur <i>aging</i> 200°C dengan waktu penahanan 5 jam. 100x	96
Gambar 4.24	Hubungan temperatur penuangan terhadap nilai kekerasan dari hasil pengecoran.....	98
Gambar 4.25	Grafik porositas material piston berbasis limbah material piston bekas	99
Gambar 4.26	Struktur mikro dari spesimen yang dituang pada temperatur 700°C, (b) 750°C, dan (c) 800°	99

Gambar 4.27 Grafik korelasi antara temperatur penuangan terhadap penuaan (*aging*) pada temperatur 155 °C.....100

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Sifat fisik dari aluminium murni.....	12
Tabel 2.2	Paduan tempa aluminium dan karakteristik	15
Tabel 2.3	Paduan cor aluminium dan karakteristiknya.....	18
Tabel 2.4	Standar skala penggunaan <i>Hardness Rockwell Tester</i>	33
Tabel 2.5	Standar skala penggunaan <i>Superficial Hardness Rockwell Tester</i>	34
Tabel 2.6	Reaktan untuk proses pengetsaan pada beberapa material	48
Tabel 3.1	Pembagian <i>spesimen</i> berdasarkan temperatur dan waktu penahanan	65
Tabel 3.2	Tabel pengujian nilai kekerasan pada setiap spesimen.....	69
Tabel 3.3	Variasi temperatur <i>aging</i> dan waktu tahan	71
Tabel 4.1	Hasil pengujian komposisi kimia pada bahan material.....	72
Tabel 4.2	Data-data paduan aluminium cor seri AA333.0.....	73
Tabel 4.3	Hasil pengujian kekerasan dan struktur mikro pada spesimen 1	74
Tabel 4.4	Hasil pengujian kekerasan dan struktur mikro pada spesimen 2	75
Tabel 4.5	Hasil pengujian kekerasan dan struktur mikro pada spesimen 3	76
Tabel 4.6	Hasil pengujian kekerasan pada spesimen setelah proses <i>quenching</i>	77
Tabel 4.7	Hasil Pengujian piston bekas	79
Tabel 4.8	Perbandingan nilai kekerasan pada setiap temperatur penuangan.....	97

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Totten , George. E , (1999), “ ***Handbook Of Aluminium*** “, Volume 1 , Marcel Dekker, New York, Bassel.
- [2] Anonim. *Potassium*, dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Potassium> yang diunduh pada tanggal 25 Juli 2010
- [3] Anonim. *Aluminium*, dari <http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium> yang diunduh pada tanggal 25 Juli 2010
- [4] James K. Wessel, 2004, “***Handbook of Advanced Materials***”, John Wiley & Sons, Inc., New Jersey.
- [5] ASM team, 1991, “***ASM Metal Handbook Volume 4 Heat Treating***“, American Society for Metals, Formerly Ninth Edition, The United States of America.
- [6] Callister Jr, William. D, 1994, “***Material Science and Engineering***”, 3rd edition, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [7] Anonim, *Aluminium-chloride*, dari [http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium chloride](http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_chloride) yang diunduh pada tanggal 25 Juli 2010.
- [8] ASM team, 1992, “***ASM Metal Handbook Volume 2 Properties and Selection: nonferrous alloys and special-purpose materials***“, American Society for Metals, Formerly Ninth Edition, The United States of America.
- [9] ASM team, 2004, “***ASM Metal Handbook Volume 9 Metallographic and Microstructures 2004***“, American Society for Metals, Formerly Ninth Edition, The United States of America.
- [10] ASM team, 1992, “***ASM Metal Handbook Volume 15 Casting***“, American Society for Metals, Formerly Ninth Edition, The United States of America
- [11] ASM team, 2000, “***ASM Metal Handbook Volume 8 Mechanical testing and Evalution***“, American Society for Metals, Formerly Ninth Edition, The United States of America.

- [12] ASM team, 1992, “*ASM Metal Handbook Volume 3 Alloy Phase Diagrams*“, American Society for Metals, Formerly Ninth Edition, The United States of America.
- [13] http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=cast_aluminum_alloy_333.0 yang diunduh pada tanggal 13 Agustus 2010
- [14] Yamagata Hiroshi, 2005, “*Science and technology of material in automotive engines*“, 1rd edition, woodhead publishing limited, Cambridge England
- [15] Zeren Muzaffer, 2006, “*The effect of heat-treatment on aluminum-based piston alloys*“, Department of Metallurgical and Materials Engineering, Kocaeli University, Veziroglu Campus, 41040 Izmit, Kocaeli, Turkey
- [16] Nur Hadi “Studi Karakteristik Material Piston dan pengembangan Prototipe Berbasis Limbah Piston Bekas”, Jurusan Teknik Mesin Undip, Semarang