

**STUDI KARAKTERISTIK MATERIAL PISTON
DAN PENGEMBANGAN PROTOTIPE PISTON
BERBASIS LIMBAH PISTON BEKAS**



TESIS

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

Disusun oleh:

**NURHADI
NIM. L4E 008 011**

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

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI KARAKTERISTIK MATERIAL PISTON DAN PENGEMBANGAN
PROTOTIPE PISTON BERBASIS LIMBAH PISTON BEKAS

Disusun oleh:

NURHADI
NIM. L4E 008 011

Program Studi magister Teknik Mesin
Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro

Menyetujui

Tim Pembimbing

Tanggal,

Ketua

Dr. Ir. A.P Bayuseno, M.Sc.
NIP. 196205201989021001

Pembimbing I

Co. Pembimbing II

Dr. Ir. A.P Bayuseno, M.Sc.
NIP. 196205201989021001

Dr. Sri Nugroho, ST., MT
NIP. 197501181999031001

ABSTRAK

STUDI KARAKTERISTIK MATERIAL PISTON DAN PENGEMBANGAN PROTOTYPE PISTON BERBASIS LIMBAH PISTON BEKAS

**NURHADI
NIM. L4E 008 011**

Masalah yang dihadapi oleh pengusaha dibidang transportasi saat ini adalah masalah ketersediaan suku cadang dan harga suku cadang kendaraan yang tinggi. Mesin bisa terjaga prima jika, ditunjang dengan perawatan dan penggantian suku cadang secara berkala atau yang sudah tidak layak pakai. Bertolak dari masalah tersebut maka, penelitian dibidang inovasi suku cadang alat transportasi masal yang berkualitas, handal dan murah perlu dikembangkan. Salah satu kasus kerusakan adalah keausan piston. Untuk mengurangi konsumsi aluminium tersebut perlu dilakukan daur ulang limbah aluminium. Pada penelitian ini fokus masalah yang ingin dipelajari adalah tentang studi karakterisasi material piston dan pengembangan prototipe piston berbasis limbah piston bekas.

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan variasi temperatur penuangan 700, 750, 800°C, komposisi paduan piston yaitu: 75% piston bekas + 25% ADC 12, 50% piston bekas + 50% ADC 12, 25% piston bekas + 75% ADC 12 dan sebagai kontrol piston bekas murni dan ADC 12 murni. Karakterisasi material hasil prototipe piston yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia, struktur mikro, kekerasan, porositas dan kekasaran.

Hasil prototipe material piston dan pengembangan prototipe piston berbasis limbah piston bekas yang terbaik dengan kekerasan 64,5 HRB, porositas terendah 4,613 dan kekasaran setelah machining paling baik 1,58 dicapai pada komposisi 25% piston bekas + 75% ADC 12 dengan temperatur penuangan 700°C.

Kata kunci: Prototipe piston, Material limbah piston, Temperatur penuangan, piston bekas murni.

ABSTRACT

STUDY CHARACTERISTICS OF PISTON MATERIAL AND DEVELOPMENT OF PROTOTYPE PISTON BASED ON WASTE PISTON

**NURHADI
NIM. L4E 008 011**

The problems faced by entrepreneurs in the field of transportation at this time is a problem the availability of spare parts and spare parts at high cost. Engine prime can be maintained if, is coupled with maintenance and replacement of spare parts on regular basis or the improper use. Based on the problem, research on the field of innovation spare parts for quality mass transportation, reliable and inexpensive need developing. One problem is the wear of piston causing damage. To reduce consumption of aluminum need to require recycling of aluminum. In this research the focus of the problems is to study about the material characterization of piston and piston prototype development based waste Piston.

The experiment was conducted on the pouring temperature variations of 700, 750, 800°C, the piston alloy compositions are: 75% waste piston + 25% ADC 12, 50% waste piston + 50% ADC 12, 25% waste piston + 75% ADC 12 and as a control waste piston pure and ADC 12 pure. Material characterization of the piston prototype was conducted including the chemical composition, microstructure, hardness, porosity and roughness.

The results of prototype material and development of piston prototype based waste piston shows best with 64.5 HRB hardness, low porosity 4.613 and roughness before machining is the product 1.58 achieved of the composition of 25% waste piston + 75% ADC 12 with the pouring temperature of 700°C.

Keywords: Prototype of the piston, the piston of waste material, pouring temperature, the former pure piston.

PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS

Tesis S2 yang tidak dipublikasikan terdaftar dan tersedia di perpustakaan Universitas Diponegoro dan terbuka untuk umum dengan ketentuan bahwa hak cipta ada pada pengarang dan mengikuti aturan HAKI yang berlaku di Universitas Diponegoro. Referensi kepustakaan diperkenankan dicatat, tetapi pengutipan atau peringkasan hanya dapat dilakukan seizin pengarang dan harus disertai dengan kebiasaan ilmiah untuk menyebutkan sumbernya. Memperbanyak atau menerbitkan sebagian atau seluruh tesis haruslah seizin Direktur Program Pascasarjana Universitas Diponegoro.

KATA PENGHANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala Rahmat, Taufik serta Hidayah-Nya sehingga tesis berjudul “Studi Karakteristik Material Piston Dan Pengembangan Prototipe Piston Berbasis Limbah Piston Bekas” dapat terselesaikan. Walaupun hasilnya tidak sempurna jika dibandingkan dengan karya-karya besar yang lain, namun hasil bukanlah tujuan yang utama, tetapi proses pembelajaran yang pernah dijalani menjadi suatu hal yang utama bagi penulis. Karena disanalah pengalaman dan nilai-nilai luhur itu ada, walaupun tidak dapat diukur dengan angka namun sangat bermakna. Pengalaman yang telah terjadi mudah-mudahan dapat menjadi refleksi, internalisasi, dan proyeksi bagi masa yang akan datang.

Penulisan tesis ini tentunya tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik yang secara langsung dan tidak langsung, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Bayuseno, selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak mengarahkan dan memberikan bimbingan serta masukan dalam penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr. Sri Nugroho, selaku Co-Pembimbing yang telah memberikan koreksi dan bantuan selama penulis melakukan penulisan tesis ini.
3. Seluruh Dosen dan Karyawan Program Pasca Sarjana Jurusan Teknik Mesin UNDIP.
4. Pak Solechan, Pak Fuad Abdilla, Ari dan Yusuf sebagai rekan penelitian yang sudah banyak membantu.
5. Pak Herman Saputro, S.Pd, MT yang kami anggap Sebagai Co. pembimbing III yang telah banyak membantu dalam praktek maupun penulisan.
6. Bapak Yusuf Umardani, ST, MT yang telah banyak membantu memberikan pengarahan pada proses pengecoran dan pembuatan cetakan.
7. Spesial buat keluarga besarku, anak dan istri tercintaku yang selalu setia dan tulus memberikan doa, dorongan dan semangat kepada penulis.

8. Rekan–rekan mahasiswa Pasca Sarjana Jurusan Teknik Mesin UNDIP yang telah banyak memberikan masukan kepada penulis

Penulis menyadari sebagai manusia bahwa masih banyak kekurangan dalam tesis ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan tesis ini. Terakhir semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagi para pembaca. Amin.

Semarang, Agustus 2010

Penulis

MOTTO

- Hidup adalah sekolah tempat dimana kita bisa mendapatkan segala sesuatunya dengan belajar, berusaha, bersaing dengan keras untuk menjadi yang terbaik diantara yang paling baik
- Hidup akan semakin indah bila kita mempunyai hati yang bersih, jiwa yang santun sehingga hati dan pikiran kita bercahaya
- Orang yang berbahagia adalah orang yang selalu bersyukur, sedangkan orang yang menderita adalah orang yang kecewa karena hasil yang tidak sesuai dengan keinginannya

PERSEMBAHAN

- Allah yang senantiasa melindungi dan memberi rahmat dan hidayahNya hingga selesainya tesis ini
- Istri dan anak tercintaku yang selalu mendorong, memberi semangat dan mendoakanku agar selalu sukses dalam mencapai cita-cita
- Orang-orang yang memberikan andil banyak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu, terima kasih banyak

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
MOTTO	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah	4
1.3. Batasan Masalah	4
1.4. Originalitas Penelitian.....	5
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJUAN PUSTAKA	7
2.1. Landasan Teori.....	7
2.1.1. Piston.....	7
2.1.2. Paduan Aluminium.....	9
2.2. Desain Piston.....	11

2.3. Peleburan Al-Si.....	14
2.4. Cacat porositas.....	17
2.5. Kekasaran Permukaan.....	18
2.6. Penelitian Yang Relevan.....	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	23
3.1. Material Penelitian.....	23
3.2. Peralatan Penelitian	25
3.3. Pengujian Sifat Mekanis dan Struktur Mikro.....	25
3.4. Diagram Alir Penelitian.....	28
3.5. Analisa Data.....	31
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	33
4.1. Studi Karakteristik Material Piston Asli Daihatsu Hi-jet 1000.....	33
4.1.1. Kekerasan material piston Daihatsu Hi-Jet 1000.....	33
4.1.2. Komposisi kimia material piston asli Daihatsu Hi-Jet 1000.....	34
4.1.3. Struktur Mikro Material piston Daihatsu Hi 1000.....	35
4.2. Studi Desain Piston dan Cetakan Piston Daihatsu Hi-Jet 1000.....	36
4.3. Kualitas Hasil Peleburan Piston Bekas.....	42
4.3.1. Hasil identifikasi kualitas hasil peleburan piston bekas.....	42
4.3.2. Pembahasan Identifikasi kualitas hasil peleburan piston bekas..	45
4.4. Pengecoran Piston Berbasis Limbah Material Piston Bekas dengan Penambahan ADC 12.....	46
4.4.1. Pengujian komposisi kimia piston berbasis limbah material piston bekas dengan penambahan ADC 12.....	47
4.4.2. Pengujian struktur mikro material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12.....	49
4.4.3. Pengujian kekerasan piston berbasis limbah material piston bekas dengan penambahan ADC 12.....	57
4.4.4. Pengukuran porositas material piston berbasis limbah piston	

bekas.....	60
4.5. Proses Permesinan Piston Berbasis Material Limbah Piston Bekas dengan Penambahan ADC 12.....	65
4.5.1. Pengujian kekerasan permukaan piston hasil permesin.....	66
4.5.2. Pengujian kekerasan permukaan piston hasil permesinan.....	67
4.6. Studi komparasi karakteristik piston asli daihatsu dengan piston baru berbasis limbah piston bekas.....	68
4.6.1. Perbandingan komposisi kimia.....	68
4.6.2. Perbandingan kekerasan.....	69
4.6.3. Perbandingan Struktur mikro.....	69
4.6.4 Perbandingan porositas.....	71
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	72
5.1. Kesimpulan.....	72
5.2. Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A. Spesifikasi Alat – Alat Penelitian

- A.1 Rockwell Hardness Tester HR-150A
- A.2 DM6802B Digital Termometer
- A.3 Mikroskop Olympus BX 41M
- A.4 Timbangan Merek Satorius
- A.5 Mitutoyo Surf-tester SJ-201P Roughness Tester
- A.6 ADC 12
- A.7 Komposisi paduan Piston Daihatsu Hi-jet 1000
- A.8 Komposisi paduan Piston bekas
- A.9 Komposisi paduan ADC 12
- A.10 Komposisi paduan 25% piston bekas + 75% ADC 12
- A.11 Komposisi paduan 50% piston bekas + 50% ADC 12
- A.12 Komposisi paduan 75% piston bekas + 25% ADC 12

Lampiran B Data Dan Perhitungan

- B.1 Perhitungan Uji Kekerasan Rockwell
- B.2 Perhitungan Uji Porositas
- B.3 Perhitungan kekasaran

Lampiran C Dokumentasi Penelitian

- C.1 Cetakan piston
- C.2 Material Piston Bekas & ADC 12
- C.3 Prototipe Piston & Spesimen Uji
- C.4 Proses peleburan material & pemanasan awal cetakan
- C.5 Permesinan untuk pembuatan specimen uji
- C.6 Pengujian Kekerasan
- C.7 Pengujian Porositas
- C.8 Pengujian Kekasaran
- C.9 Piston Hasil Pengecoran

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kerusakan pada piston.....	2
Gambar 1.2	Grafik diskripsi rencana pembelian kendaraan dan realisasi pembelian.....	3
Gambar 2.1	Bagian-bagian piston.....	7
Gambar 2.2	Celah antara piston dan silinder ruang bakar.....	10
Gambar 2.3	Ketebalan kepala piston.....	11
Gambar 2.4	Ketinggian t_{land} kepala piston.....	12
Gambar 2.5	Jarak antara t_{land} dengan alur ring.....	13
Gambar 2.6	Ukuran piston dari perhitungan.....	14
Gambar 2.7	Diagraf fasa Al-Si.....	14
Gambar 2.8	Proses Pembuatan piston.....	17
Gambar 2.9	Tekstur permukaan benda kerja.....	18
Gambar 2.10	Simbol pernyataan spesifikasi permukaan	21
Gambar 3.1	Piston Daihatsu Hi-jet 1000 buatan Jepang.....	23
Gambar 3.2	Limbah piston bekas yang berasal dari motor bensin.....	24
Gambar 3.3	Material ADC 12.....	24
Gambar 3.4	Dapur peleburan limbah piston bekas.....	25
Gambar 3.5	Pembuatan specimen uji.....	29
Gambar 3.6	Mikroskop Olympus BX416.....	26
Gambar 3.7	Rockwell Hardness Tester.....	27
Gambar 3.8	Alat uji porositas.....	27
Gambar 3.9	Mesin CNC Turning.....	36
Gambar 3.10	Mitutoyo Surftest SJ-201P Roughness Tester.....	28
Gambar 3.11	Diagram Alir Penelitian.....	30
Gambar 4.1	Struktur mikro material piston Daihatsu Hi-Jet 1000 dengan perbesaran mikroskop 1000X.....	36
Gambar 4.2	Hasil identifikasi geometri piston Daihatsu Hi-Jet 1000.....	37
Gambar 4.3	Desain 3D cetakan piston Daihatsu Hi-Jet 1000.....	39

Gambar 4.4.	Prototipe cetakan piston dengan menggunakan bahan kayu	39
Gambar 4.5	Cetakan piston dengan bahan baja.....	40
Gambar 4.6	Hasil uji coba cetakan piston dengan bahan paraffin (lilin).....	41
Gambar 4.7	Cacat–cacat hasil coran piston akibat desain piston yang kurang mampu alir	42
Gambar 4.8	Struktur mikro hasil pengecoran material limbah piston bekas dengan perbesaran mikroskop 1000X (Pengecoran I & II).....	45
Gambar 4.9	Hasil pengecoran piston berbasis limbah material piston bekas dengan variasi penambahan ADC 12 dan temperatur penuangan...	47
Gambar 4.10	Pembuatan spesimen untuk pengujian-pengujian.....	47
Gambar 4.11	Hasil pengamatan struktur mikro material piston berbasis limbah piston bekas pada temperatur penuangan 700°C dengan perbesaran 1000x.....	51
Gambar 4.12.	Hasil pengamatan struktur mikro piston berbasis limbah piston bekas pada temperatur penuangan 750°C dengan perbesaran 1000x.....	53
Gambar 4.13.	Hasil pengamatan struktur mikro material piston berbasis limbah piston bekas pada temperatur penuangan 800°C dengan perbesaran 1000x.....	55
Gambar 4.14	Diagram fasa paduan Al-Si.....	56
Gambar 4.15	Skematis laju pembekuan logam coran	56
Gambar 4.16	Pengujian material piston berbasis limbah material piston bekas...	58
Gambar 4.17.	Grafik porositas material piston berbasis limbah material piston bekas.....	62
Gambar 4.18	Grafik Kelarutan Hidrogen pada Logam Aluminium.....	64
Gambar 4.19	Hasil permesinan pengecoran piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12.....	65
Gambar 4.20	Grafik kekasaran permukaan hasil proses permesinan.....	67
Gambar 5.1	Struktur mikro hasil pengecoran ulang limbah piston bekas.....	73
Gambar 5.1	Cetakan piston Daihatsu hasil <i>reverse engineering</i>	73

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1	Komoditas impor dalam kurun waktu Januari – Mei 2005 – 2006.....	2
Tabel 2.1	Angka kekasaran menurut ISO atau DIN 4763.....	8
Tabel 3.1	Diskripsi pengambilan data.....	8
Tabel 4.1	Nilai Pengujian kekerasan <i>Rockwell</i> B material piston Daihatsu Hi-Jet 1000.....	33
Tabel 4.2	Hasil uji komposisi material piston Daihatsu Hi-Jet 1000.....	34
Tabel 4.3	Komposisi paduan AA. 333.0.....	35
Tabel 4.4	Sifat mekanik paduan AA. 333.0.....	35
Tabel 4.5	Nilai pengujian kekerasan <i>Rockwell</i> B material limbah piston bekas	42
Tabel 4.6	Hasil uji komposisi material limbah piston bekas.....	44
Tabel 4.7	Hasil uji komposisi material piston berbasis limbah piston bekas.....	48
Tabel 4.8	Komposisi paduan Aluminium AA 333.0.....	48
Tabel 4.9	Komposisi ADC 12.....	48
Tabel 4.10.	Hasil pengujian kekerasan piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur Penuangan 700°C.	57
Tabel 4.11.	Hasil pengujian kekerasan material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangan 750°C.....	57
Tabel 4.12.	Hasil pengujian kekerasan material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangan 800°C.....	57
Tabel 4.13.	Perbandingan nilai kekerasan paduan 50% PB + 50 % ADC dengan 75% PB + 25 % ADC.....	59
Tabel 4.14.	Perhitungan <i>apparent density</i> (ρ_s) dan porositas sampel hasil pengecoran piston dengan material limbah piston bekas pada temperatur penuangan 700°C.....	61
Tabel 4.15	perhitungan <i>apparent density</i> (ρ_s) dan porositas sampel hasil Pengecoran piston dengan material limbah piston bekas pada temperatur penuangan 750°C.....	61

Tabel 4.16.	perhitungan <i>apparent density</i> (ρ_s) dan porositas sampel hasil pengecoran piston dengan material limbah piston bekas pada temperatur penuangan 800°C.....	61
Tabel 4.17.	perhitungan <i>apparent density</i> (ρ_s) dan porositas sampel Piston Daihatsu Hi-Jet 1000.....	62
Tabel 4.18.	Hasil pengujian kekasaran permukaan piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangn 700°C...	66
Tabel 4.19.	Hasil pengujian kekasaran permukaan piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangn 750°C...	66
Tabel 4.20.	Hasil pengujian kekasaran permukaan piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 pada temperatur penuangn 800°C	66
Tabel 4.21.	Hasil pengujian kekasaran permukaan piston Daihatsu.....	67
Tabel 4.22.	Perbandingan komposisi kimia piston asli Daihatsu dengan komposisi piston baru berbasis material piston bekas.....	68
Tabel 4.23.	Perbandingan kekerasan piston Daihatsu dengan kekerasan piston baru berbasis material piston bekas.....	69
Tabel 4.24.	Perbandingan porsitas piston Daihatsu dengan kekerasan piston baru berbasis material piston bekas.....	71

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Pemakaian Pertama Kali Pada halaman
ADC	<i>Aluminium die casting</i>	6
AA	<i>Aluminum Association</i>	10
CLA	<i>Center line average</i>	18
CNC	<i>Computer numerical control</i>	28
HRB	<i>Hardness Rockwell B</i>	33
ASM	<i>America Society of Material</i>	35
JIS	<i>Japanese Industrial Standart</i>	35
ASTM	<i>Amirica standart of testing material</i>	37
STDEV	<i>Standart Deviasi</i>	66
PB	Piston Bekas	71
 Lambang		
Al	<i>Aluminium</i>	2
Si	<i>Silicon</i>	2
P	Tekanan	12
D	Diameter	12
s	Tegangan yang diijinkan	12
t ₁	Ketebalan kepala piston	12
h ₁	Kedalaman alur ring piston	12
t _r	Ketebalan radial alur ring piston	12
t _{land}	Jarak antara kepala piston dengan alur pertama	13
R _a	Kekasaran rata-rata	18
R _i	<i>Kekerasan rata-rata</i>	20
f	<i>Feed</i>	20

r	<i>Radius</i>	20
ρ_o	<i>True density</i>	60
P_s	<i>Density</i>	60
M_p	<i>Berat piknometer</i>	60
M_{p+A}	<i>Berat piknometer yang diisi aquades</i>	60
M_{s+A}	<i>Berat massa sampel dalam piknometer</i>	60
M_{p+s+A}	<i>Berat massa sampel dalam piknometer yang telah dimasukkan aquades</i>	60

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Masalah yang dihadapi oleh pengusaha dibidang transportasi saat ini adalah masalah ketersediaan suku cadang dan harga suku cadang kendaraan yang tinggi. Idealnya sebuah alat transportasi (bus, angkot, dan taksi) dikatakan layak dan aman untuk beroperasi jika mempunyai kondisi mesin yang prima. Mesin bisa terjaga prima jika, ditunjang dengan perawatan dan penggantian suku cadang secara berkala atau yang sudah tidak layak pakai. Apa yang terjadi saat ini sungguh sangat memprihatinkan, dimana alat-alat transportasi massal yang ada beroperasi dengan kondisi dibawah standart kelayakan jalan serta mengesampingkan kenyamanan dan keselamatan penumpang.

Hal ini merupakan salah satu penyebab mengapa alat transportasi massal di Indonesia kurang diminati oleh masyarakat sebagai alat bantu menuju ke kantor, sekolah, dan tempat-tempat yang lain. Kurang berhasilnya alat transportasi massal saat ini bisa dilihat dari masih banyaknya motor dan kendaraan pribadi yang ada di jalan saat-saat jam kerja atau jam sekolah. Masalah kenyamanan dan keselamatan saat ini banyak dijadikan sebagai alasan mengapa masyarakat lebih memilih menggunakan kendaraan pribadi.

Untuk mendukung agar alat transportasi massal yang ada bisa memiliki kenyamanan dan keselamatan yang tinggi maka, salah satu usaha adalah dengan tersedianya suku cadang yang berkualitas, handal dan aman digunakan serta harga yang terjangkau. Bertolak dari masalah tersebut maka, penelitian dibidang inovasi suku cadang alat transportasi masal yang berkualitas, handal dan murah perlu dikembangkan.

Salah satu kasus kerusakan pada suku cadang yang sering ditemui pada alat transportasi massal selama ini adalah keausan piston. Keausan pada piston dikarenakan kondisi kerja piston yang bekerja menahan suhu yang tinggi, tekanan yang besar dan gaya gesek secara terus menerus dalam jangka waktu yang lama, sehingga piston mengalami keausan (Gambar 1.1). Hal inilah yang menyebabkan

komponen piston perlu dilakukan penggantian dalam jangka waktu tertentu sesuai dengan penggunaan.



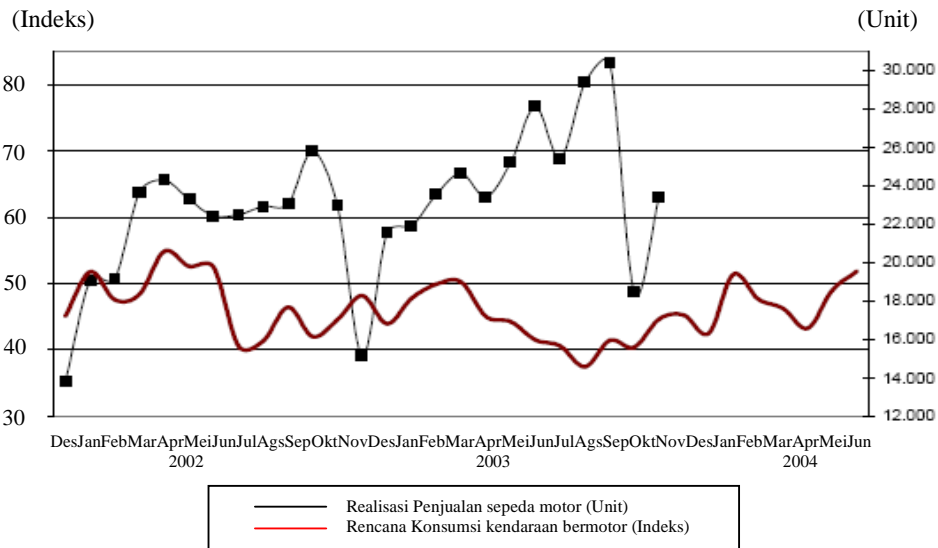
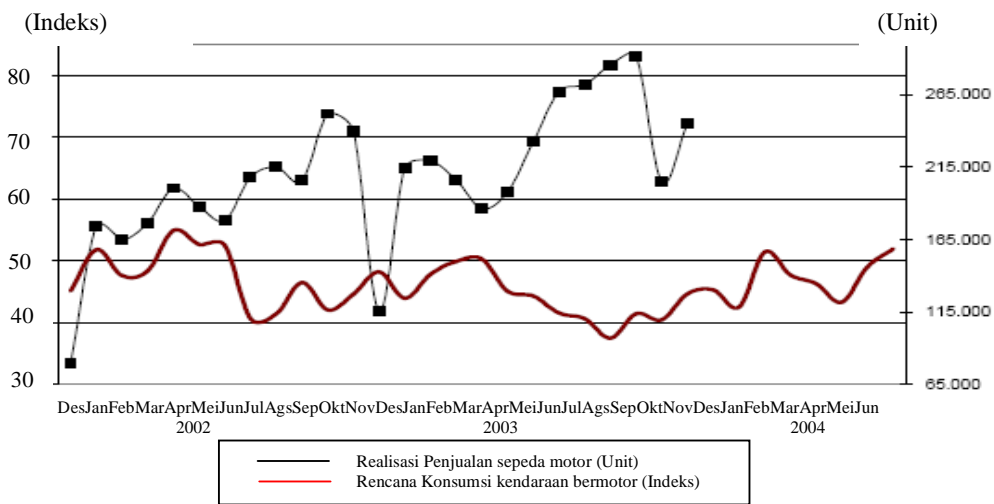
Gambar 1.1 Kerusakan pada piston (www.Metalurgi.com)

Piston merupakan paduan aluminium dengan silikon (Al-Si) dimana aluminium termasuk dalam 10 komoditas impor dalam kurun waktu Januari - Mei 2005 – 2006 sesuai dengan data Badan Pusat Statistik Indonesia Tabel 1.1 berikut:

Tabel 1.1. Komoditas impor dalam kurun waktu Januari – Mei 2005 – 2006 (BPS, 2006)

Komoditi SITC 3 Digit	Nilai FOB (000 US\$)		% Perub thdp tahun sebelumnya	% Perub thdp total Jan-Mei 05	% Perub thdp total Jan-Mei 06	
	Jan-Mei 05	Jan - Des 05				
258	Aluminium ores and Concentrates	47,063	67,675	43,80	9,97	11,69
562	Fertilizers, Manufactured	51,017	56,899	11,53	10,81	9,83
81	Feeding stuff for animals	44,623	37,936	-14,99	9,45	6,55
334	Petroleum products, refined	1,365	36,025	2.539,19	0,29	6,22
121	Tabacco, unmanufacture, tabacco refuse	16,702	18,915	13,25	3,54	3,27
661	Lime, cement and Fabricated Construction materials	9,333	14,176	51,89	1,98	2,45
61	Sugar, molasses and honey	9,745	14,013	43,80	2,06	2,42
335	Residual Potroleum products, nes and related materials	15,807	12,427	-21,38	3,35	2,15
712	Steam or oth gen boilers & parts	2,029	10,988	441,55	0,43	1,90
571	Polymers of Ethylene, primary Forms	7,799	7,799	38,17	1,65	1,86

Penggunaan aluminium pada industri otomotif terus meningkat sejak tahun 1980 (Budinski, 2001). 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. Di Indonesia saat ini industri otomotif berkembang dengan pesat, hal ini ditandai dengan banyaknya kendaraan bermotor dan mobil yang ada. Pada Gambar 1.2 menunjukkan grafik hubungan antara rencana pembelian kendaraan dan realisasi penjualan kendaraan.



Gambar 1.2 Grafik diskripsi rencana pembelian kendaraan dan reaalisasi pembelian (majalah Survai Konsumen, 2004)

Tuntutan akan kebutuhan paduan aluminium yang terus meningkat dan keterbatasan biji aluminium yang ada, merupakan masalah yang harus dicari solusinya. Karena masalah ketersediaan bahan baku biji aluminium ini akan menyebabkan terganggunya proses produksi pada industri-industri pengguna logam aluminium, termasuk industri pembuatan piston. Untuk mengatasi masalah keterbatasan bahan baku piston tersebut salah satu usaha yang dimungkinkan adalah dengan melakukan daur ulang limbah piston bekas. Agar piston hasil daur ulang bisa digunakan dengan baik, aman dan handal, maka perlu dilakukan studi lebih lanjut tentang daur ulang limbah piston bekas menjadi material piston baru.

Pada penelitian ini fokus masalah yang ingin dipelajari adalah tentang studi karakterisasi material piston original dan bagaimana membuat piston baru berbasis material limbah piston bekas dengan kualitas yang sama atau mendekati dengan kualitas piston original, khususnya untuk alat transportasi massal angkutan kota (angkot) dengan mesin Daihatsu Hi-Jet 1000.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas maka dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut:

- a. Adanya kebutuhan yang tinggi terhadap piston Daihatsu khususnya suku cadang alat transportasi massal angkot.
- b. Keterbatasan bahan baku aluminium maka, dibutuhkan suatu usaha untuk mengatasinya diantaranya dengan usaha daur ulang.

1.3 Batasan Masalah

Mengingat luasnya permasalahan yang ada, maka dalam pembahasan ini penulis merasa perlu untuk melakukan pembatasan masalah pada beberapa hal sebagai berikut :

- a. Piston yang menjadi fokus penelitian ini adalah piston Daihatsu Hi-Jet 1000
- b. Studi karakterisasi piston original terbatas pada: uji komposisi, uji struktur mikro dan uji kekerasan.
- c. Material limbah piston bekas yang digunakan adalah berasal dari limbah piston kendaraan mesin bensin.
- d. Material ADC 12 diproduksi *MME Resources Limited*, Cina

1.4 Originalitas Penelitian

Untuk mendapatkan paduan Al-Si (*aluminum alloy*) yang sesuai dengan kebutuhan material piston telah dilakukan beberapa inovasi dalam proses pembuatannya, diantaranya adalah proses pembuatan piston dengan metode cetak tekan (*squeeze casting*) (Durrant, 1996), memakai metode penyemprotan plasma (*plasma spraying*) (Kim, 2005) dan proses pembuatan piston dengan proses metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) (Vaillant, 1995). Dari beberapa usaha tersebut kebanyakan menggunakan material aluminium baru. Herman (2008) melakukan penelitian tentang peningkatan kualitas hasil pengecoran paduan aluminium hasil daur ulang dengan metode *insert* besi tuang.

Dengan memanfaatkan hasil penelitian-penelitian sebelumnya, pada penelitian ini mencoba mengembangkan pembuatan piston baru berbasis limbah material piston bekas yang handal, aman dan harga yang terjangkau sebagai usaha untuk mengatasi masalah ketersediaan suku cadang piston untuk alat transportasi masal Angkot.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

- a. Mendapatkan karakterisasi material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang (Sifat mekanis, komposisi kimia, bentuk, dimensi, berat dan kekasaran permukaan)
- b. Menentukan berapa besar presentase penambahan ADC 12 agar kualitas piston baru berbasis material limbah piston bekas sama atau mendekati kualitas piston original.
- c. Menganalisa pengaruh desain cetakan terhadap hasil pengecoran piston dari sifat mekanik
- d. Menentukan variabel-variabel bebas dalam penelitian ini terhadap kualitas hasil pengecoran piston Daihatsu Hi-Jet 1000.
- e. Melakukan studi komparasi karakterisasi piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang dengan piston dengan berbasis material limbah piston bekas.

1.6 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan akan mempunyai kontribusi :

- a. Penelitian ini diharapkan dapat memberi kontribusi yang positif pada dunia otomotif.
- b. Sebagai bahan referensi tentang pengembangan model pembuatan piston dan teknologi daur ulang material aluminium.
- c. Sebagai bahan referensi tentang paduan Aluminium khususnya paduan Al-Si.
- d. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang pengecoran dalam rangka memperbaiki kualitas produk-produk pengecoran.
- e. Memperkaya bahan ajar bagi lab. Metalurgi dan Material pada Jurusan Teknik Mesin UNDIP
- f. Penelitian ini dapat digunakan sebagai referensi bagi penelitian berikutnya.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan Tesis ini terdiri dari lima bab yaitu bab I pendahuluan berisi tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, originalitas penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan. Bab II tinjauan pustaka terdiri dari material Piston (Al-Si), Desain Piston dan Desain Cetakan, dan Teori Pengecoran. Bab III metodologi penelitian berisikan tentang spesifikasi material penelitian, peralatan penelitian, alat pengujian, Diagram Alir Penelitian, Variabel Penelitian dan Analisis Data.

Bab IV hasil penelitian dan pembahasan meliputi hasil karakterisasi material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang, hasil dan pembahasan kualitas material yang berasal dari limbah piston bekas, hasil dan pembahasan pengaruh variasi penambahan Al-Si (ADC 12) dan variasi temperatur penuangan pengecoran, hasil dan Pembahasan Perbandingan kualitas piston original dengan piston baru dengan berbasis material limbah piston bekas dan ditutup dengan bab V kesimpulan dan saran.

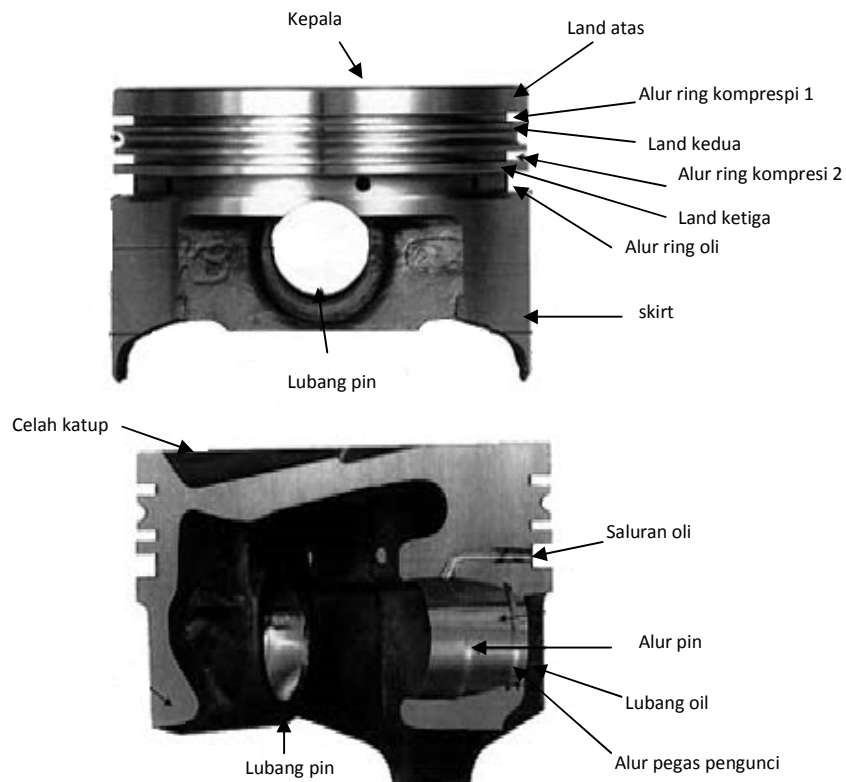
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Piston

Piston dalam bahasa Indonesia juga dikenal dengan istilah torak adalah komponen dari mesin pembakaran dalam yang berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima hentakan pembakaran pada ruang bakar silinder liner. Komponen mesin ini dipegang oleh setang piston yang mendapatkan gerakan turun-naik dari gerakan berputar *crankshaft*. Bentuk bagian-bagian piston dapat dilihat pada Gambar 2.1.

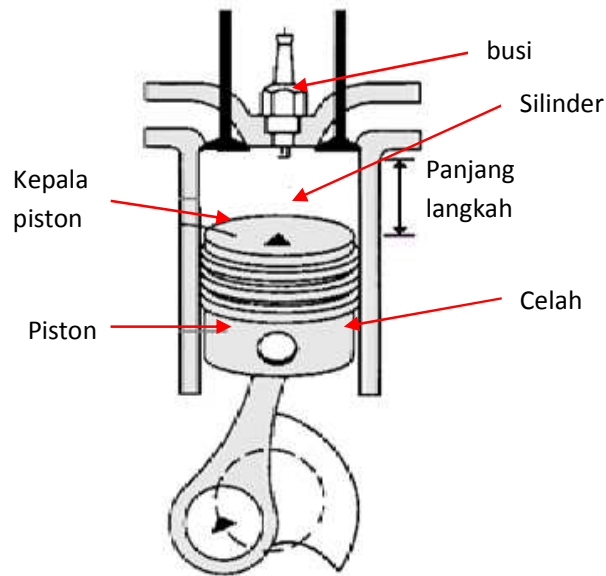


Gambar 2.1 Bagian-bagian piston

Piston bekerja tanpa henti selama mesin hidup. Komponen ini mengalami peningkatan temperatur dan tekanan tinggi sehingga mutlak harus memiliki daya tahan tinggi. Oleh karena itu, pabrikan kini lebih memilih paduan aluminium (Al-

Si). Logam ini diyakini mampu meradiasikan panas yang lebih efisien dibandingkan material lainnya.

Karena piston bekerja pada temperatur tinggi maka, pada bagian-bagian tertentu seperti antara diameter piston dan diameter silinder ruang bakar oleh para desainer sengaja diciptakan celah (Gambar 2.2). Celah ini secara otomatis akan berkurang (menjadi presisi) ketika komponen-komponen itu terkena suhu panas. Ini yang kemudian mengurangi terjadinya kebocoran kompresi. Celah piston bagian atas lebih besar dibandingkan bagian bawah. Ukuran celah piston ini bervariasi tergantung dari jenis mesinnya. Umumnya antara 0,02 hingga 0,12 mm. Memakai ukuran celah yang tepat sangat penting. Alasannya, bila terlalu kecil akan menyebabkan tidak ada celah antara piston dan silinder ketika kondisi panas. Kondisi ini akan menyebabkan piston bisa menekan silinder dan merusak mesin. Sebaliknya, kalau celahnya terlalu berlebihan, tekanan kompresi dan tekanan gas hasil pembakaran akan menjadi rendah. Akibatnya mesin kendaraan pun tidak bertenaga dan mengeluarkan asap.



Gambar 2.2. Celah antara piston dan silinder ruang bakar

2.1.2 Paduan Aluminium

Aluminium dipakai sebagai paduan berbagai logam murni, sebab tidak kehilangan sifat ringan dan sifat – sifat mekanisnya dan mampu cornya 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. (Surdia, 1992).

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

Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg ditemukan oleh A. Wilm dalam usaha mengembangkan paduan aluminium yang kuat yang dinamakan *duralumin*. Paduan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg serta dapat mengeras dengan sangat 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 *terner* 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 (Surdia, 1992).

c. Paduan Al-Mn

Mangan (Mn) adalah unsur yang memperkuat aluminium 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 (Surdia, 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 (Surdia, 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 (Surdia, 1992).

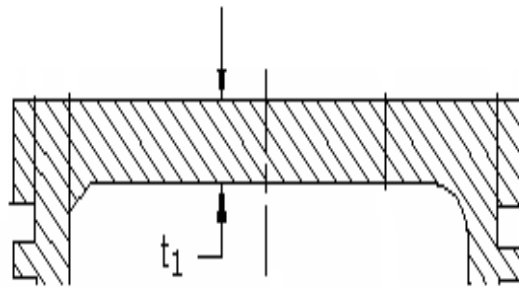
2.2. Desain Piston

Pengetahuan mengenai desain piston merupakan bagian penting dalam proses pembuatan piston. Pada proses desain piston untuk mendapatkan informasi geometris dan dimensi piston dilakukan dengan perhitungan-perhitungan dengan menggunakan beberapa formulasi rumus atau persamaan sebagai berikut:

a. Desain ketebalan kepala Piston (*Crown*)

Kepala piston harus memiliki kekuatan yang bagus untuk menahan beban yang ditimbulkan tekanan ledakan di dalam silinder mesin. Diharapkan penghamburan panas pembakaran ke dinding silinder secepat mungkin supaya aliran panas menyebar keseluruh ruang pembakaran. Untuk itu kepala piston dibuat flat pada mahkota piston supaya beban terdistribusi seragam pada intensitas maksimum tekanan gas.

Pengitungan ketebalan kepala piston atau *piston head* (Gambar 2.3) didasarkan pada besarnya tegangan yang berkaitan dengan tekanan fluida, sehingga ketebalan kepala piston dapat ditentukan dengan persamaan 2.1 (Trimble, 1989) berikut ini:



Gambar 2.3. Ketebalan kepala piston (*piston head*) (Trimble, 1989)

$$t_1 = \sqrt{\frac{3pD^2}{16s}} \quad (2.1)$$

Keterangan :

- p = Tekanan (Psi)
 D = Diameter silinder (inchi)
 s = Tegangan yang diijinkan (Psi)
 t_1 = ketebalan kepala piston (inchi)

Dengan formulasi yang lain, perhitungan ketebalan kepala silinder dapat di dekati dengan persamaan 2.2 (Trimble, 1989) berikut:

$$t_1 = 0,032D + 0,06 \quad (2.2)$$

b. Desain kedalaman alur ring piston (h_1)

Groove atau alur piston yang digunakan sebagai dudukan ring piston dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3 (Trimble, 1989) berikut ini:

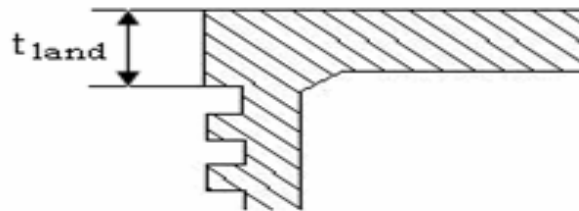
$$h_1 = 0.7 t_r \text{ atau } h_1 = 1.0 t_r \quad (2.3)$$

keterangan :

- h_1 = kedalaman alur ring piston (inchi)
 t_r = ketebalan radial alur ring piston (inchi)

c. Desain jarak antara kepala piston dengan alur pertama ($t_{land 1}$)

Jarak antara kepala piston dengan alur pertama (t_{land}) seperti pada Gambar 2.4 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 (Trimble, 1989) berikut ini:



Gambar 2.4. Ketinggian t_{land} kepala piston (piston head)

$$t_{land 1} = 1.0 t_1 \text{ atau } t_{land} = 1.2 t_1 \quad (2.4)$$

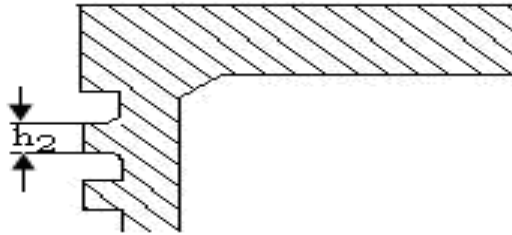
Keterangan:

$t_{land 1}$ = jarak antara kepala piston dengan alur pertama (*inchi*)

t_1 = ketebalan kepala piston (*inchi*)

d. Desain jarak anatara t_{land} dengan alur ring (h_2)

Jarak anatara t_{land} dengan alur ring (h_2) Gambar 2.6 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.5 (Trimble,1989) berikut ini:



Gambar 2.5 jarak anatara t_{land} dengan alur ring

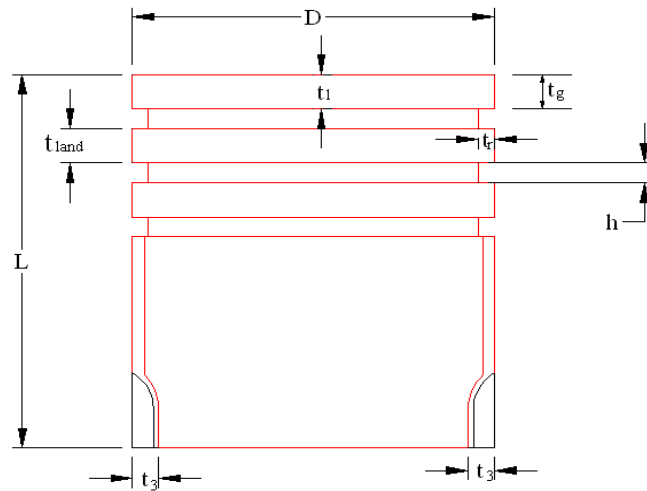
$$h_2 = h_1 \text{ atau } < h \quad (2.5)$$

e. Desain ketebalan maksimum pada skirt piston (t_3)

Skirt piston berfungsi untuk menyangga piston pada silinder supaya kebisingan yang terjadi ketika piston bergerak di dalam silinder dapat diredam. Ketebalan maksimum skirt piston dapat didapatkan dihitung dengan persamaan 2.6 . (Trimble, 1989) berikut ini:

$$t_3 = 0.03 D + h_1 + 4.5 \quad (2.6)$$

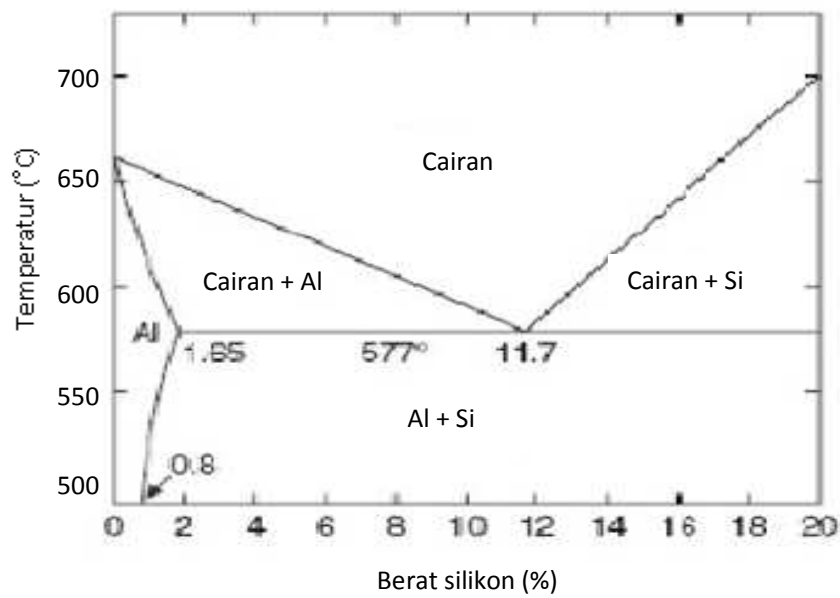
Dari semua perhitungan diatas dapat dibuat desain piston dan ditemukan dimensi pada bagian-bagian piston Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Ukuran piston dari perhitungan

2.3 Peleburan Al-Si

Paduan Al-Si memiliki sifat mampu cor yang baik, tahan korosi, dapat diproses dengan pemesinan dan dapat dilas. Diagram fasa dari Al-Si ditunjukkan pada Gambar 2.7, diagram ini digunakan sebagai pedoman umum untuk menganalisa perubahan fasa pada proses pengecoran paduan Al-Si.



Gambar 2.7 Diagram fasa Al-Si

Permasalahan yang dapat muncul pada proses peleburan Aluminium yaitu pada temperatur tinggi cepat bereaksi dengan oksigen membentuk oksida. Afinitas (*kecenderungan mengikat elektron*) aluminium terhadap gas hidrogen juga cukup tinggi sehingga dapat mengakibatkan timbulnya cacat-cacat gas (seperti porositas) pada produk corannya.

Pembekuan aluminium pada temperatur rendah mengakibatkan laju pembekuan menjadi tidak seragam dan sifat mampu alirnya menjadi kurang baik sehingga dapat menimbulkan cacat *shrinkage* pada produknya. (*American Foundry's Society*, 1992)

Berdasar literatur (*American Foundry's Society*, 1992), ditemukan beberapa karakteristik unik dalam paduan *slightly hyper eutectic* ($9.6 < \% \text{ Si} < 14$) Al-Si. Keberadaan struktur kristal silikon primer pada paduan *hyper eutectic* mengakibatkan karakteristik berupa:

1. Ketahanan aus paduan meningkat.
2. Ekspansi termal yang rendah.
3. Memiliki ketahanan retak panas (*hot tearing*) yang baik.

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).

Karakteristik ekspansi termal yang rendah menyebabkan penyusutan yang terjadi tidak terlalu besar (tegangan sisa yang terbentuk selama pembekuan rendah. Hal ini akan meminimalisir terjadinya retakan pada material selama proses pendinginan (meminimalisir terjadinya *hot tearing*) (Colangelo, 1995).

Peleburan paduan aluminium dapat dilakukan pada tanur krus besi cor, tanur krus dan tanur nyala api. Logam yang dimasukkan pada dapur terdiri dari sekrap (*remelt*) dan aluminium ingot. Aluminium paduan tuang ingot didapatkan dari peleburan primer dan sekunder serta pemurnian. Kebanyakan kontrol analisa didapatkan dari analisis pengisian yang diketahui, yaitu ketelitian pemisahan tuang ulang dan ingot aluminium baru. Ketika perlu ditambahkan elemen pada aluminium, untuk logam yang mempunyai titik lebur rendah seperti seng dan magnesium dapat ditambahkan dalam bentuk elemental. Sekrap dari bermacam – macam logam tidak dapat dicampurkan bersama ingot dan tuang ulang apabila

standar ditentukan. Praktek peluburan yang baik mengharuskan dapur dan logam yang dimasukan dalam keadaan bersih.

Untuk menghemat waktu peleburan dan mengurangi kehilangan karena oksidasi lebih baik memotong logam menjadi potongan kecil yang kemudian dipanaskan mula. Kalau bahan sudah mulai mencair, fluks harus ditaburkan untuk mengurangi oksidasi dan absorpsi gas. Selama pencairan, permukaan harus ditutup fluks dan cairan diaduk pada jangka waktu tertentu untuk mencegah segregasi.

Piston dibuat dengan memanaskan paduan Al-Si hingga sampai mencair, kemudian cairan paduan Al-Si dituang dalam cetakan piston. Pada gambar dibawah ini disajikan tahap-tahapan dalam pembuatan piston:



a. Penuangan cairan Al-Si kedalam cetakan



b. Pengambilan Piston dari cetakannya



c. Proses machining pembentukan piston



d. Proses finising (pengerjaan akhir Piston)



e. Piston yang sudah jadi dilakukan pengecekan akhir.

Gambar 2.8 Proses pembuatan piston

2.4 Cacat Porositas

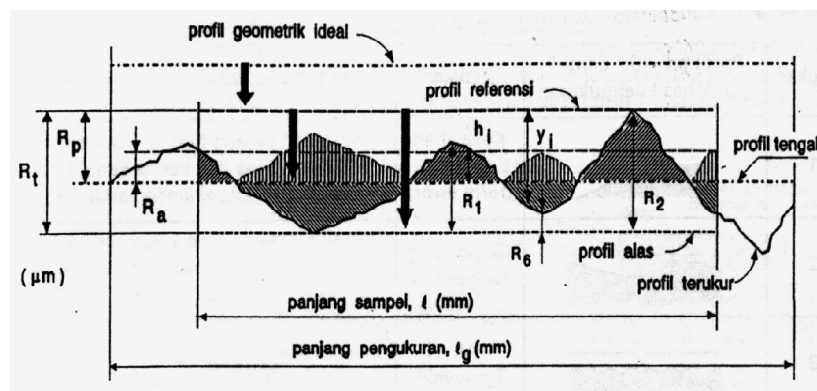
Porositas adalah suatu cacat atau void pada produk cor yang dapat menurunkan kualitas benda tuang. Salah satu penyebab terjadinya porositas pada penuangan paduan aluminium adalah gas hidrogen. Gas hidrogen ini dapat terbentuk karena logam cair saat proses pengecoran dimulai, dapat beroksidasi dengan gas karbon monoksida dan karbon dioksida. Porositas oleh gas hidrogen dalam benda cetak paduan aluminium silikon akan memberikan pengaruh yang buruk pada kekuatan serta kesempurnaan dari benda tuang tersebut.

Cacat produk cor dapat dikategorikan atas: *major defect* dan *minor defect*. *Major defect* yaitu cacat produk cor yang tidak dapat diperbaiki, sedangkan *minor defect* adalah cacat yang masih dapat diperbaiki dengan perbaikan ekonomis. Cacat porositas termasuk dalam *major defect*, penyebab utama timbulnya cacat porositas pada proses pengecoran adalah:

1. Temperatur penuangan yang tinggi
2. Gas yang terserap dalam logam cair selama proses penuangan.
3. Cetakan yang kurang kering
4. Reaksi antara logam induk dengan uap air dari cetakan.
5. Kelarutan hidrogen yang tinggi
6. Permeabilitas pasir yang kurang bagus.

2.5 Kekasaran permukaan

Menurut Taufiq Rochim, kekasaran akhir permukaan benda bisa ditetapkan dari banyak parameter. Parameter yang biasa dipakai dalam proses produksi untuk mengukur kekasaran permukaan adalah kekasaran rata-rata (R_a). Parameter ini adalah juga dikenal sebagai perhitungan nilai kekasaran AA (*arithmetic average*) atau CLA (*center line average*). R_a bersifat universal dan merupakan parameter internasional kekasaran yang paling sering digunakan. Selain R_a ada beberapa parameter pengukuran kekasaran permukaan lain seperti terlihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9. Tekstur permukaan benda kerja (Taufiq Rochim, 2001).

Berdasarkan profil-profil yang diterangkan di atas, dapat didefinisikan beberapa parameter permukaan, yaitu

1. Kekasaran total (*peak to valley height / total height*), R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
2. Kekasaran perataan (*depth of surface smoothness / peak to mean line*), R_p (μm) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur.
3. Kekasaran rata-rata aritmetik (*mean roughness index / center line average, CLA*), R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmetik bagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |h_1| dx \quad (2.7)$$

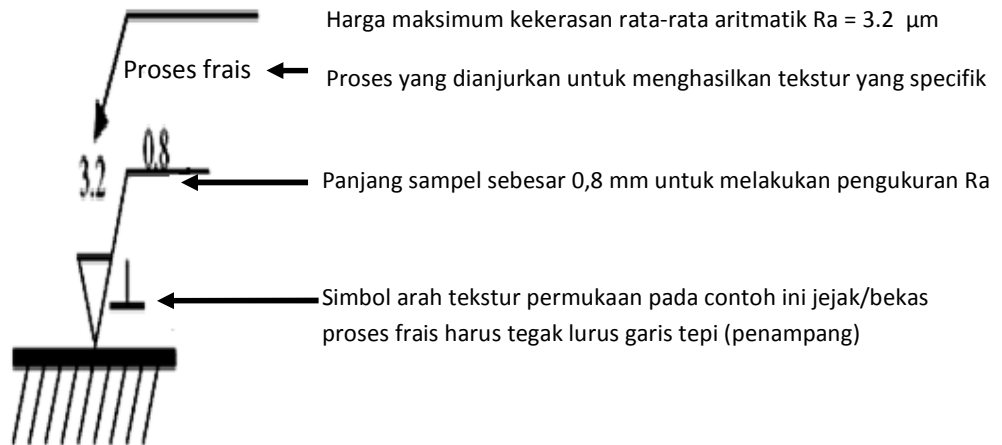
4. Kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square height*), R_q (μm) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$\frac{\text{---}}{\text{---}} \quad (2.8)$$

5. Kekasaran total rata-rata, R_z (μm), merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima lembah terendah.

$$\text{---} \quad (2.9)$$

Menurut Standar ISO R 1302 “*Method of Indicating surface Texture on Drawing*”. Simbol persyaratan umum dituliskan seperti pada gambar 2.10



Gambar 2.10. Simbol pernyataan spesifikasi permukaan (Norwood, 2007)

Sedangkan angka kekasaran permukaan *roughness number* dan *panjang standard sample* diklasifikasikan menjadi 12 angka kelas Tabel 2.1.

Tabel 2.1 : Angka kekasaran menurut ISO atau DIN 4763

Harga kekasaran, Ra (μm)	Angka kelas kekasaran	Panjang sampel (mm)
50 25	N12 N11	8
12,5 6,3	N10 N9	2,5
3,2 1,6 0,8 0,4	N8 N7 N6 N5	0,8
0,2 0,1 0,005	N4 N3 N2	0,25
0,025	N1	0,08

Sebuah persamaan yang sangat populer dalam memprediksi kekasaran permukaan diperkenalkan oleh Grover dan Boothroyd (2003):

$$R_i = \frac{f^2}{32r} \quad (2.10)$$

Dimana: R_i : kekasaran rata-rata (in atau mm)
 f : Feed (in/rev atau mm/put)
 r : Radius pahat (in atau mm)

Model persamaan *surface roughness* (2.10) mengambil asumsi bahwa *nose radius* pahat besar dan *feed* rendah. Sedangkan untuk *nose radius* yang kecil dan *feed* yang besar dapat menggunakan model persamaan *surface roughness* (2.11) yang diperkenalkan oleh Boothroyd dan Knight.

$$R_i = \frac{f}{4(\text{Cot } \alpha + \text{Cot } \beta)} \quad (2.11)$$

Dimana : α dan β adalah major dan Cutting edge angle.

2.6 Penelitian Yang Relevan

Penelitian tentang aluminium piston telah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, antara lain: Anastasiou (2002), Syrcos (2002), Tsoukalas dkk (2004) dan Norwood dkk (2007).

Anastasiou (2002) melakukan penelitian pada paduan Al-9Si-3Cu (wt%), Norwood (2007) meneliti paduan Al-8Si-3Cu(wt%). Semua penelitian tersebut dilakukan dengan berdasar metode Taguchi.

Anastasiou (2002) menggunakan parameter temperatur tuang 800°C, temperatur cetakan 350°C dan tekanan 350 bar. Syrcos (2002) dan Tsoukalas (2004) menggunakan parameter temperatur tuang 730°C, temperatur cetakan 270 °C dan tekanan 280 bar. Norwood (2007) menggunakan parameter temperatur tuang 750°C temperatur cetakan 180°C dan tekanan 105 bar

Tsoukalas (2004) telah meneliti tingkat porositas dari hasil coran dengan metode *High Pressure Die Casting* (HPDC). Syrcos (2002) meneliti pengaruh proses parameter terhadap densitas hasil coran. Norwood dkk (2007) telah meneliti pengaruh temperatur cetakan pada pengecoran HPDC.

Penelitian tentang pembuatan piston dengan metode *die casting* telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu, diantaranya adalah: metode pembuatan dengan proses *gravity die casting* (Doehler, 1951), dengan proses *powder forging* (Park, 2001), proses *squeeze casting* (Duskiardi, 2002), pembuatan piston dengan metode *thixoforging* (Choi, 2005).

Park (2001) menggunakan bahan 89,8%wt Al, 2%wt Si, 4,5%wt Cu, 2,0%wt Ni, 0,5%wt Mn, 0,5%wt Mg dan 1,2%wt unsur lainnya. Duskiardi (2002) menggunakan bahan 12,62 wt% Si, 2,83 wt% Cu, 1,58 wt% Ni, 0,89 wt% Mg, 0,38 wt% Fe, 0,15 wt% Mn dan sisanya Al. Choi (2005) menggunakan bahan 7,0 wt% Si, 0,2 wt% Cu, 0,2 wt% Ti, 0,35 wt% Mg, 1,2 wt% Fe, 0,1 wt% Mn, 0,1 wt% Zn dan sisanya Al.

Doehler (1951) telah mematenkan alat untuk memproduksi piston secara masal dengan menggunakan *production die casting machine*. Mesin ini sampai sekarang masih dipakai dalam pembuatan piston, bahkan 90% proses pembuatan piston menggunakan teknik ini. Park (2001) membuat piston dengan cara serbuk yang sudah ditekan disinter pada suhu 580°C selama 25 menit. Duskiardi (2002)

melebur bahan pada suhu 700°C, dituang pada cetakan yang dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 400°C dan dilakukan squeeze casting. Choi (2005) memanaskan cetakan pada suhu 275 °C, ditekan dengan beban sebesar 200 ton dan ditahan selama 60 detik. Choi (2005)

Penelitian Park dkk (2001) menghasilkan piston dengan kekerasan sebesar 77.5 HRB dan kekuatan tarik sebesar 630 MPa. Penelitian Duskiardi (2002) menghasilkan piston dengan kekerasan sebesar 115 BHN. Penelitian Choi (2005) menghasilkan piston dengan harga kekerasan sebesar 52 HRB.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Material Penelitian

Material yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang

Untuk mendapatkan data yang relevan dengan tututan piston pada mesin Daihatsu Hi-Jet 1000, Pada studi karakterisasi material yang digunakan adalah piston asli buatan Jepang (Gambar 3.1). Dipilihnya piston original buatan Jepang juga berfungsi untuk keperluan identifikasi geometri dan pengembangan desain piston dan cetakan piston Daihatsu Hi-Jet 1000.



Gambar 3.1 Piston Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang

- b. Limbah piston bekas yang digunakan adalah piston motor bensin. Agar tidak terjadi perbedaan komposisi paduan material hasil peleburan limbah piston bekas yang signifikan maka, limbah piston yang didaur ulang adalah limbah piston motor bensin (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Limbah piston bekas yang berasal dari motor bensin

c. ADC 12

Untuk meningkatkan kualitas material limbah piston bekas yang akan digunakan sebagai bahan material piston, dilakukan penambahan material Al - Si atau ADC 12 produksi *MME Resources Limited, Cina* (Gambar 3.3)



Gambar 3.3 Material ADC 12

3.2 Peralatan Penelitian

a. Cetakan yang berbentuk *Gravity Mold*

Cetakan piston adalah suatu cetakan yang terbuat baja karbon rendah yang digunakan untuk membuat piston menggunakan teknik pengecoran gravitasi pada waktu penuangan material logam. Cetakan ini merupakan pengembangan desain piston dan cetak.

b. Dapur peleburan.

Dapur peleburan limbah piston bekas merupakan hasil desain dan kreasi sendiri yang dilengkapi barner dengan bahan bakar gas LPG (Gambar 3.4).



Gambar 3.4 Dapur peleburan limbah piston bekas

c. Termometer

Termometer digunakan untuk mengukur temperatur pemanasan cetakan, temperatur penuangan dan lain-lain.

3.3 Pengujian Sifat Mekanis dan Struktur Mikro

a. Pembuatan spesimen uji

Pada penelitian ini spesimen yang digunakan untuk proses pengujian berasal dari pengecoran berbentuk piston. Dari bentuk piston kemudian di bentuk

spesimen-spesiman untuk uji struktur mikro, kekerasan, komposisi dan porositas (Gambar 3.5).



Gambar 3.5 Pembuatan spesimen pengujian

b. Uji struktur mikro

Untuk melihat struktur mikro yang terjadi dilihat dengan alat Mikroskop Olympus BX 416 (Gambar 3.6).



Gambar 3.6 Mikroskop Olympus BX 416

c. Pengujian kekerasan

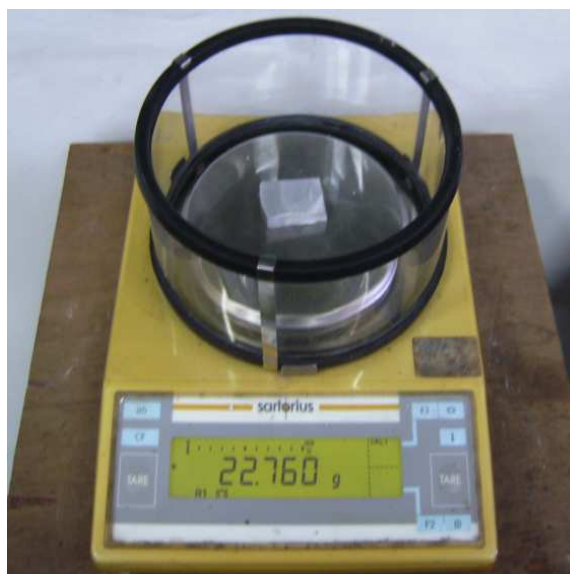
Alat uji kekerasan yang digunakan adalah *Rockwell Hardness Tester*. Pengujian kekerasan bertujuan menentukan kekerasan suatu material dalam bentuk daya tahan material terhadap benda penguji (dapat berupa bola baja atau kerucut diamon) yang ditekan terhadap permukaan material uji (Gambar 3.7).



Gambar 3.7 Rockwell hardness tester

d. Pengujian porositas

Alat uji porositas yang digunakan adalah berupa timbangan dengan merek *Satorius* (Gambar 3.8) digunakan untuk mendapatkan data % porositas dari material piston baru berbasis material limbah piston bekas.



Gambar 3.8 Alat uji porositas

e. Permesinan

Mesin CNC bubut yang digunakan pada penelitian ini untuk membentuk piston adalah CNC *Lathe Trun Master TMC 320* dengan sistem controlnya SIEMENS 802 S (Gambar 3.9).



Gambar 3.9 Mesin *CNC Turning*

f. Pengujian Kekasaran

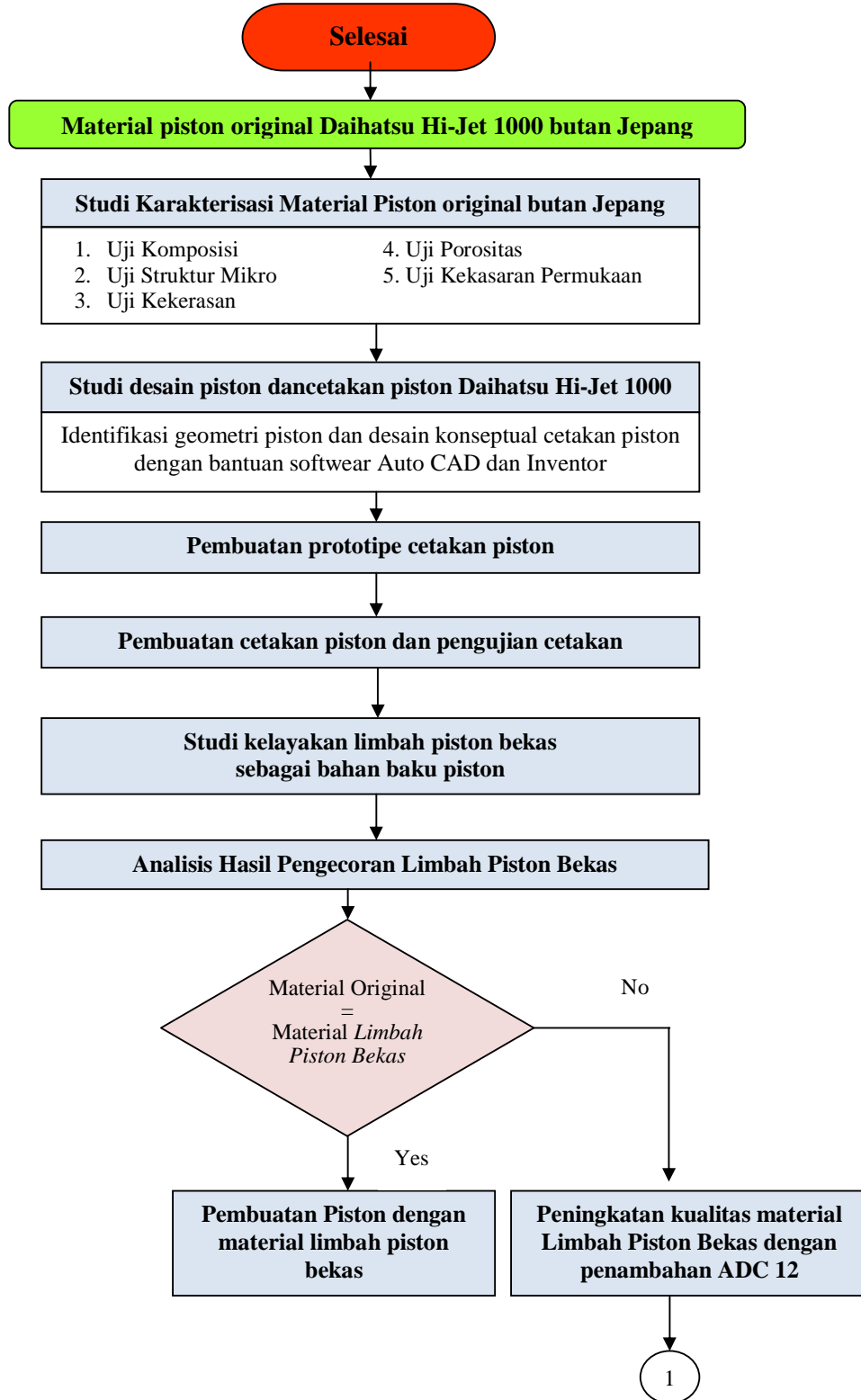
Untuk mengetahui kekasaran yang dihasilkan dari proses permesinan piston digunakan *Mitutoyo Surftest SJ-201P Roughness Tester* (Gambar 3.10).

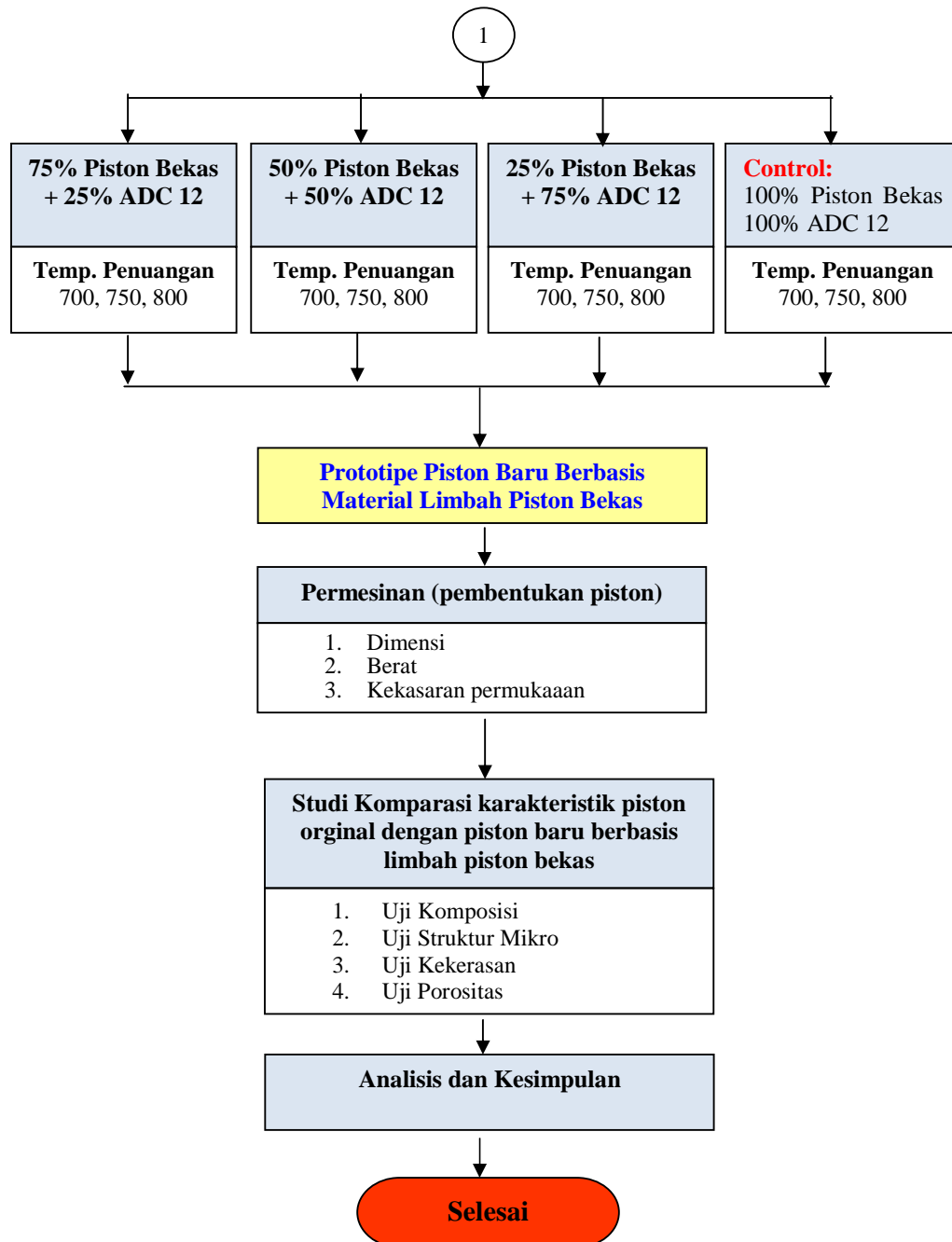


Gambar 3.10 Mitutoyo Surftest SJ-201P *Roughness Tester*

3.4 Diagram Alir Penelitian

Tahap penelitian dalam penelitian ini dapat digambarkan dengan bagan aliran proses penelitian sebagai berikut (Gambar 3.11):





Gambar 3.8 Diagram Alir Penelitian

3.5 Analisa data

a. Tahap I: Studi karakterisasi material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang

Data dari hasil karakteristik material piston original diperoleh: komposisi material, struktur mikro dan kekerasan yang selanjutnya dianalisis dengan metode deskriptif analisis.

b. Tahap II: Studi Desain piston dan desain cetakan piston Daihatsu Hi-Jet 1000.

Data yang diperoleh dari studi desain piston dan desain cetakan piston Daihatsu Hi-Jet 1000 serta pengujian cetakan piston dianalisis dengan metode deskriptif analisis.

c. Tahap III: Pengecoran piston berbasis material piston bekas dengan penambahan ADC 12 dan variasi temperatur penuangan 700, 750 dan 800 °C

Pada pengecoran piston berbasis material piston bekas dengan penambahan material ADC 12 terdapat variasi persentase penambahan ADC 12 dan temperatur penuangan dapat disajikan seperti pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Diskripsi pengambilan data

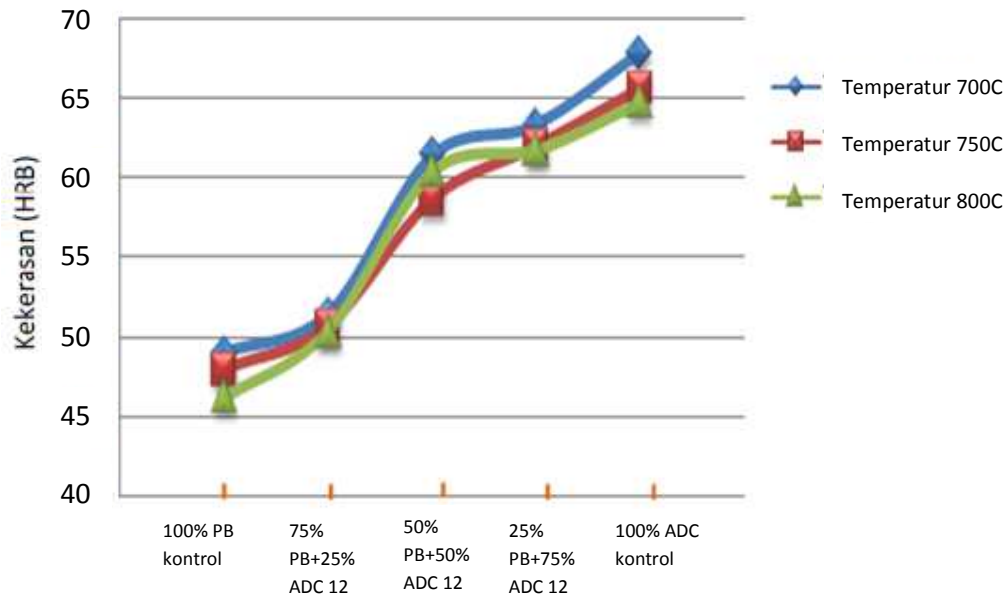
Temperatur Penuangan Variasi penambahan ADC 12	700 °C	750 °C	800 °C
75 % piston bekas + 25% ADC 12	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan Uji porositas	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan Uji porositas	Uji Komposisi Uji struktur mikro Uji kekerasan Uji porositas
50 % piston bekas +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

d. Tahap IV: Proses permesinan piston

Pada tahap ini dilakukan proses permesinan piston hasil pengecoran berdasar studi literatur dan penelitian tentang parameter-parameter permesinan yang cocok untuk material Al-Si.

e. Tahap V: Studi Komparasi karakteristik piston orginal dengan piston baru berbasis limbah piston bekas

Pada tahap ini dilakukan studi perbandingan karakteristik piston original dengan piston baru berbasis limbah piston bekas berdasarkan pada parameter-parameter seperti komposisi paduan, struktur mikro, kekerasan dan porositas.



Gambar 4.16 Pengujian material piston berbasis limbah material piston bekas

Dari grafik pada Gambar 4.16 pengujian kekerasan piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 diperoleh beberapa data sebagai berikut:


- 1) Pada paduan 75% PB + 25 % ADC 12 baik pada temperatur penguangan 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 penguangan 700, 750 dan 800°C merupakan paduan yang memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi yaitu 63,5; 64,5; dan 61,5 HRB. Nilai kekerasan tertinggi pada 25% PB + 75% ADC 12 masih lebih rendah jika dibandingkan dengan Kontrol II 100% ADC. Sehingga untuk meningkatkan kekerasan perlu dilakukan *treatment* untuk meningkatkan kekerasan.
- 2) Dari grafik pada Gambar 4.14 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)

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

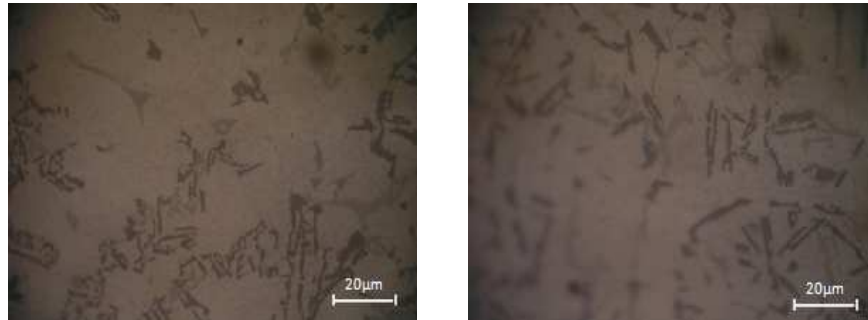
- a. Hasil studi karakterisasi material piston Daihatsu Hi-Jet 1000 diketahui bahwa piston mempunyai sifat dan karakterisasi sebagai berikut:

No.	Pengujian	Hasil studi karakterisasi material piston Daihatsu Hi-Jet 1000
1	Kekerasan	76 HRB
2	Komposisi kimia (Al-Si)	84,19 % Al dan 10,7% Si
	Struktur mikro	
3	Porositas	2,357 %
4	Kekasaran permukaan	(1,25 – 187) μm

- b. Hasil studi pengecoran ulang piston bekas dapat disimpulkan beberapa hal seperti:

- Kekerasan hasil pengecoran ulang limbah piston bekas masih dibawah kekerasan piston Daihatsu Hi-Jet yaitu 49,9 – 50,4HRB.
- Komposisi kimia hasil pengecoran ulang limbah piston bekas khususnya untuk kandungan % Si juga masih dibawah komposisi piston Daihatsu Hi-Jet dan standar paduan aluminium AA. 333.0 yaitu pengecoran I 86,27% Al; 7,78 % Si dan pengecoran II 87,82 % Al; 7,76 % Si.

- Dari pengamatan struktur mikro hasil pengecoran ulang limbah piston bekas memiliki unsur Si yang lebih sedikit dan tersebar tidak merata (Gambar 5.1). Hal ini berbeda sekali dengan bentuk struktur mikro piston Daihatsu Hi-Jet yang memiliki unsur Si yang tersebar merata.



Gambar 5.1 Struktur mikro hasil pengecoran ulang limbah piston bekas

- c. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa limbah piston bekas tidak bisa didaur ulang secara langsung sebagai material piston. Agar limbah piston bekas dapat dimanfaatkan menjadi material piston perlu dilakukan usaha perbaikan kualitas hasil coran, khususnya kualitas kekerasan, komposisi dan struktur mikro yang merupakan struktur dasar material piston.
- d. Pada penelitian ini, konsep dasar yang digunakan dalam studi pembuatan cetakan piston adalah *reverse engineering* (rekayasa balik). Dimana dari hasil *reverse engineering* tersebut didapatkan hasil desain cetakan seperti Gambar 5.2 berikut ini:



Gambar 5.2 Cetakan piston Daihatsu hasil *reverse engineering*

- e. Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa penambahan ADC 12 terhadap material limbah piston bekas memiliki pengaruh terhadap peningkatan % Si, perbaikan struktur mikro dan sifat kekerasan material pada hasil pengecoran limbah material piston menjadi material piston baru. Persentase penambahan ADC 12 yang dibutuhkan agar kualitas piston baru dengan berbasis material limbah piston bekas bisa sama atau mendekati kualitas piston original adalah paduan 50% PB +50% ADC12 dan paduan 75 % PB + 25% ADC 12.
- f. Pengaruh variable-variabel dalam pengecoran terhadap kualitas hasil pengecoran piston Daihatsu Hi-Jet 1000 adalah sebagai berikut:
- Seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan (700, 750 dan 800°C) menyebabkan hasil kekerasan semakin menurun. Dimana pada temperatur 700°C menghasilkan kekerasan yang paling tinggi disetiap kelompok paduan. Hal ini disebabkan pada temperatur 700°C memiliki laju pembekuan yang paling cepat dibandingkan dengan temperatur penuangan yang lain.
 - Penambahan ADC 12 dapat mengurangi adanya porositas, dimana seiring dengan penambahan ADC 12 porositas yang terjadi semakin berkurang.
 - Seiring dengan meningkatnya temperatur penuangan menyebabkan porositas semakin meningkat. Dimana pada temperatur 700°C menghasilkan porositas yang paling rendah disetiap kelompok paduan.
 - Pada temperatur penuangan 700°C didapatkan harga kekasaran permukaan yang paling baik, baik pada paduan 75% PB + 25 ADC 12, 50% PB + 50 ADC 12, 25% PB + 75 ADC 12, Kontrol I 100% PB dan Kontrol II 100% ADC12. Hal ini dikarenakan pada temperatur penuangan 700 °C merupakan paduan yang memiliki bentuk kristal paling rapat dan juga memiliki porositas yang paling rendah.
- g. Perbandingan karakteristik piston Daihatsu dengan piston baru berbasis limbah piston bekas dapat diuraikan sebagai berikut:
- Hasil pengecoran piston bekas dengan penambahan ADC12 khususnya untuk paduan 50% PB + 50% ADC dan 25% PB + 75% ADC dapat masuk dalam standar AA. 333.0 atau JIS AC8B, akan tetapi jika dibandingkan

dengan piston Daihatsu komposisi kimia piston dengan material limbah piston bekas masih dibawahnya, khususnya pada % Si.

- Hasil pengujian kekerasan terhadap piston baru berbasis material limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 didapatkan hasil dibawah kekerasan material piston baru masih dibawah kekerasan material piston Daihatsu.
- Dari pengamatan struktur mikro dengan penambahan ADC 12 pada proses pengecoran limbah piston bekas memberi dampak positif terhadap bentuk unsur Si pada struktur mikro piston baru khususnya pada paduan 50% PB + 50% ADC dan 25% PB + 75% ADC. Hasil ini jika dibandingkan dengan struktur mikro piston Daihatsu memperlihatkan bentuk yang hampir sama khususnya untuk paduan 50% PB + 50% ADC dan 25% PB + 75% ADC pada temperatur penuangan 700 dan 750°C.
- Hasil pengujian porositas terbaik adalah 4,613% diperoleh pada kondisi eksperimen: temperatur penuangan 700°C dan pada paduan 25% PB + 75% ADC. Hasil terbaik ini jika dibandingkan dengan porositas pada piston Daihatsu masih lebih besar, karena persentase porositas pada piston Daihatsu adalah 2,357.

5.2 Saran

Pada penelitian ini didapatkan prototipe piston Daihatsu Hi-Jet yang dikembangkan dari daur ulang limbah piston bekas. Dari hasil penelitian ini masih banyak hal yang dapat dikembangkan seperti:

1. Pada penelitian ini kekerasan material piston hasil daur ulang limbah piston bekas masih dibawah dari kekerasan material piston asli Daihatsu. Sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut untuk meningkatkan kekerasan material piston hasil daur ulang limbah piston bekas.
2. Hasil pengujian komposisi kimia material piston hasil daur ulang limbah piston bekas juga masih dibawah dari standar material piston Daihatsu. Sehingga perlu

upaya lain untuk memperbaiki komposisi kimia selain dengan penambahan ADC 12.

3. Material piston hasil daur ulang limbah piston bekas dengan metode pengecoran gravitasi masih banyak terdapat porositas, maka dibutuhkan penelitian lanjutan tentang metode pengecoran yang dapat mengurangi porositas.
4. 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.

DAFTAR PUSTAKA

- American Foundry's Society, 1992, "Proceedings of 3rd International Conference of Molten Aluminum", Orlando, Florida.
- ASM International, 1993, "ASM Specialty Handbook: Aluminium and Aluminium Alloys", Ohio.
- Budinski., 2001," Engineering Materials Properties and Selection," PHI New Delhi, pp. 517-536
- Anastasiou, K.S., 2002, "Optimization of the Aluminium Die Casting Process based on the Taguchi Method", Proc. I Mech E Vol. 216 Part B: J. Engineering Manufacture, Loughborough UK, pp. 969-976.
- ASTM Standards, 2003, "Metal Test Methods and Analytical Procedures", volume 03.01, West Conshohocken United States.
- Colangelo, V.J., 1995, "Analysis of Metallurgical Failures", 2nd Edition, John Wiley & Sons, Singapore
- Choi, J.I., Park, H.J., Kim, J.H., Kim, S.K., 2005, "A Study on Manufacturing of Aluminium Automotive Piston by Thixoforging", International Journal Manufacture Technology, Springer-Verlag London Ltd, pp. 32-40.
- Callister, W., 2001, "Fundamental of Materials Science and Engineering", John Wiley & Son Inc
- Campbell, J., 2000, "Casting", Birmingham
- Chen, Z. W., 2003, "Skin Solidification During High Pressure Die Casting of Al-11Si-2Cu-1Fe Alloy", Materials Science and Engineering A348, pp.145-153.
- Doehler, H., "Die Casting", McGraw Hill Book Company, New York.
- Duskiardi, Tjitro, S., 2002, Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Material Piston Komersial Lokal, Jurnal Teknik Mesin Vol. 4 No. 1 April 2002, Universitas Kristen Petra Surabaya, pp. 1-5.
- Durrant, G., Gallerneault, M., Cantor, B.,1996, "Squeeze cast aluminum reinforced with mild steel inserts" J Mater Science, 31 pp. 589-602.
- Kim, W. J., *et al* 2005, "Corrosion performance of plasma sprayed Cast Iron coatings on Aluminum alloy for automotive component," Surface coating and Technology, 200 pp 1162-67
- McClein, S.T., 1997, "A Study of Porosity Quantification Techniques in Aluminium Alloy Casting", Mississippi

- Norwood A.J., Dickens P.M., 2007, "Surface Temperature of Tools during the High Pressure Die Casting of Aluminium" ,Proc. I Mech E Vol. 221 Part B: J. Engineering Manufacture, Loughborough UK, pp 1659-1664.
- Park, J.O., Park, C.W., Kim, Y.H., 2001. "A Study on the Powder Forging of Aluminium Alloy Pistons", International Journal of the Korean of Precision Engineering, Vol. 2 No. 4, pp. 69-74.
- Rochim, taufiq. (2001), Spesifikasi metrologi dan control kualitas geometrik, institute teknologi bandung: Bandung.
- Surdia, Tata & Saito, Shinroku. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik. (edisi kedua)*. Jakarta: Pradnya Paramita
- Syrcos, G.P., 2003, "Die Casting Process Optimization using Taguchi Methods", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 135 pp. 68-74.
- Smith, W.F., 1993, "Structure and Properties of Engineering Alloys", 2nd Edition, McGraw-Hill inc,
- Srinivasan, A, Pillai, U. T. S., dan Pai, B. C., 2006, "Effect of Pouring Temperatur on Microstructure and the Mechanical Properties of Low Pressure Sand Cast LM 25 (Al-7Si-0.3Mg) Alloy, International Journal Microstructure and Materials Properties, 1, No. 2, pp. 139-148.
- Tsoukalas, V.D., Mavrommatis, S.A., Orfanoudakis, N.G., 2004, "A Study of Porosity Formation in Pressure Die Casting using the Taguchi Approach", Proc. I Mech E Vol. 218 Part B: J. Engineering Manufacture, Loughborough UK, pp. 77-86.
- Vaillant ,P., Petitet, J. P.,1995, "Interactions under hydrostatic pressure of mild steel with liquid aluminum alloys,".JMater Science 30 pp 4659-4668.
- _____, Majalah Survai Konsumen, Februari 2004.

.

.

.