

**STUDI PEMBUATAN PROTOTIPE MATERIAL
PISTON MENGGUNAKAN LIMBAH PISTON
BEKAS DAN ADC 12 YANG DIPERKUAT
DENGAN INSERT ST 60 DAN BESI COR**



TESIS

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

Disusun oleh:

**SOLECHAN
NIM. L4E 008 015**

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



LAMPIRAN

LEMBAR PENGESAHAN
STUDI PEMBUATAN PROTOTIPE MATERIAL PISTON MENGGUNAKAN
LIMBAH PISTON BEKAS DAN ADC 12 YANG DIPERKUAT DENGAN
INSERT ST 60 DAN BESI COR

Disusun oleh:

SOLECHAN
NIM. L4E 008 015

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 PEMBUATAN PROTOTYPE MATERIAL PISTON MENGGUNAKAN LIMBAH PISTON BEKAS DAN ADC 12 YANG DIPERKUAT DENGAN INSERT ST 60 DAN BESI COR

SOLECHAN
NIM. L4E 008 015

Sejak tahun 1980 kebutuhan aluminium pada komponen otomotif seperti piston, blok mesin, kepala silinder dan katup terus meningkat sampai sekarang. Untuk mengurangi konsumsi aluminium tersebut perlu dilakukan daur ulang limbah aluminium. Khususnya di Indonesia limbah piston per tahun mencapai 6.765,5 ton. Apabila bisa didaur ulang menjadi piston baru akan menghemat material aluminium baru dan memberi masukan bagi pengembangan bidang ilmu teknologi material. Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah studi pembuatan piston dari bahan limbah piston bekas dan ADC 12 yang diperkuat dengan *insert* ST 60 dan besi cor pada alur pertama ring dengan pengecoran gravitasi. Tempat alur pertama ini dipilih karena kegagalan yang sering dijumpai pada piston adalah aus pada ring pertama piston.

Kegiatan 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, piston bekas murni dan ADC 12 murni dengan *insert* ST 60 dan besi cor. Karakterisasi material yang dilakukan meliputi uji komposisi kimia, struktur mikro, kekerasan mikro, makro dan kekuatan geser.

Hasil prototipe paduan material piston yang terbaik dengan kekerasan mikro 113,2 HVN, kekuatan geser 24.58 MPa dicapai pada komposisi 25% piston bekas + 75% ADC 12, *insert* besi cor dengan temperatur penuangan 700°C.

Kata kunci: Prototipe piston, Material limbah piston, Temperatur penuangan, Pengecoran gravitasi.

ABSTRACT

STUDY ON MANUFACTURING OF PROTOTYPE PISTON MATERIAL USING WASTE PISTON MATERIAL AND ADC 12 REINFORCED BY INSERTING STEEL ST 60 AND CAST IRON

**SOLECHAN
NIM. L4E 008 015**

Since 1980 the needs of aluminum alloy in the automotive components such as pistons, engine blocks, cylinder heads and valves continues increasing until now. To reduce consumption of aluminum will require recycling of aluminum. Particularly in Indonesia waste piston reaches 6765.5 tons per year, if the piston can be recycled into new materials will save the new aluminum and give for development of the field of material science. The purpose of this research was to study for making piston from piston waste materials and ADC 12 with reinforced by inserting ST 60 and cast iron of the first groove of piston ring with gravity casting process. This place was selected because failure of frequently to meet the piston is a wear of piston groove first.

Research works on conducted by pouring temperature variation of 700, 750, 800°C and using with; 75% waste piston + 25% ADC 12, 50% waste piston + 50% ADC 12, 25% waste piston + 75% ADC 12, pure waste piston and pure ADC 12 with insert ST 60 and cast iron. Material characterization testing was conducted by analyzing the chemical composition, microstructure, micro and macro hardness and shear strength.

Results show that prototype alloy pistons with the best materials for micro hardness 113.2 HVN, shear strength of 24.58 MPa ware obtained at the composition of 25% waste piston + 75% ADC 12, insert is cast iron with pouring temperature of 700°C.

Keywords: prototype of a piston, a waste piston material, pouring temperature, gravity casting

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 Pembuatan Prototipe Material Piston Menggunakan Limbah Piston Bekas Dan ADC 12 Yang Diperkuat Dengan Insert ST 60 dan Besi Cor” dapat terselesaikan. Walaupun hasilnya tidak seberapa 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 Nurhadi, Pak Fuad Abdilla, Ari dan Yusuf sebagai rekan penelitian yang sudah banyak membantu.
5. Mas Herman yang kami anggap Sebagai Co. pembimbing III yang telah banyak membantu dalam praktek maupun penulisan.
6. Bapak Suryadi dan Ibu Darlin yang telah memberikan bantuan, dorongan, kasih sayang serta doa kepada penulis.
7. Spesial buat adik-adiku dan keponaanku Lintang 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 khususnya pak Bambang kus, pak Naryo, pak Gondo, pak Margono, pak Leman, pak Iman, mas Paryanto, mas Agung dan Mas Bambang.

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

Karya ini dipersembahkan untuk:

*Untuk bapak dan ibuku yang selalu mendoakan dan
menasehatiku tanpa ada batas akhir*

*Adik-adiku Aten, Lilik, Yuni dan ponakanku yang paling
cantik Lintang yang selalu memberi motivasi, doa dan
dorongan*

*Untuk calon istriku yang selalu menemaniku dalam keadaan
susah maupun senang*

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
ABSTRACT	iii
PEDOMAN PENGGUNAAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
PERSEMBAHAN	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR LAMPIRAN	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Tujuan Penelitian	4
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJUAN PUSTAKA	6
2.1. Paduan Aluminium	6
2.2. Langkah Kerja Piston.....	14
2.3. Standarisasi Piston.....	19
2.4. Piston Bimetalik	20
2.5. Peleburan (<i>Melting</i>).....	22
2.6. Sifat-sifat Bahan	32

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	46
3.1. Material Penelitian.....	46
3.1.1. Material Piston Original Daihatsu Hi-jet 1000 Buatan Jepang.	46
3.1.2. Limbah Piston Motor Bensin.....	47
3.1.3. ADC 12.....	47
3.1.4. Material <i>Insert</i>	48
3.2. Peralatan Penelitian	48
3.2.1. Cetakan Untuk Prototipe <i>Insert</i> Piston.....	48
3.2.2. Cetakan piston.....	49
3.2.3. Dapur Peleburan.....	49
3.2.4. Termometer Digital.....	50
3.2.5. Mikroskop.....	50
3.2.6. <i>Vickershardness Tester</i>	50
3.2.7. <i>Universal Testing Machine (UTM)</i>	51
3.2.8. Mesin Grinding.....	52
3.2.9 Mesin CNC Turning.....	52
3.3. Diagram Alir Penelitian.....	53
3.3.1. Persiapan Bahan	54
3.3.2. Proses Pengecoran.....	54
3.3.3. Pengujian Karakteristik Piston.....	55
3.3.4. Proses Permesinan.....	57
3.4. Variabel Permesinan.....	57
3.4.1. Variabel Bebas.....	57
3.4.2. Variabel Terikat.....	58
3.5. Analisa Data.....	58
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	60
4.1. Karakteristik Piston Original Daihatsu Hi-jet 1000.....	60
4.1.1. Studi Komposisi Material Piston Original Daihatsu Hi-jet	

Piston.....	60
4.1.2 Studi Struktur Mikro Material Piston Original Daihatsu Hijet 1000.....	62
4.1.3. Studi Kekerasan material Piston Original Daihatsu Hi-Jet 1000.....	62
4.2. Identifikasi Kualitas Hasil Peleburan Piston Bekas.....	64
4.2.1. Komposisi Hasil Pengecoran Material Limbah Piston Bekas...	64
4.2.2. Struktur mikro Hasil Pengecoran Material Limbah Piston Bekas	65
4.2.3. Kekerasan Hasil Pengecoran Material Limbah Piston Bekas.....	66
4.3. Studi Perbaikan Hasil Pengecoran Limbah piston Bekas Dengan penambahan ADC 12 Disertai insert ST 60 Dan Besi Cor.....	68
4.3.1. Pengujian Komposisi.....	69
4.3.1.1. Hasil Pengujian Komposisi.....	69
4.3.1.2. Pembahasan Pengujian Komposisi.....	70
4.3.2. Pengujian Struktur Mikro	71
4.3.2.1. Hasil Struktur mikro dengan insert ST 60 Temperatur Penuangan 700, 750 dan 800°C.....	72
4.3.2.2. Hasil Struktur mikro dengan insert Besi cor Temperatur Penuangan 700°C, 750 dan 800°C.....	78
4.3.2.3. Pembahasan Struktur mikro dengan insert ST 60 dan Besi cor Temperatur Penuangan 700, 750 dan 800°C.....	84
4.3.3. Pengujian Kekerasan mikro.....	87
4.3.3.1. Hasil Pengujian kekerasan makro dengan insert ST 60 Temperatur Penuangan 700, 750 dan 800°C	88
4.3.3.2. Hasil Pengujian kekerasan makro dengan insert Besi Cor Temperatur Penuangan 700, 750 dan 800°C.....	88
4.3.3.3. Pembahasan Hasil Pengujian kekerasan makro	

dengan insert ST 60 dan Besi Cor Temperatur Penuangan 700, 750 dan 800°C.....	89
4.3.4. Kekuatan Uji Geser (<i>shear Strength</i>).....	91
4.3.4.1. Hasil Pengujian Kekuatan geser dengan insert ST 60 Temperatur Penuangan 700, 750 dan 800°C.....	92
4.3.4.2. Hasil Pengujian Kekuatan geser dengan insert Besi cor Temperatur Penuangan 700, 750 dan 800°C	92
4.3.4.3 Pembahasan Hasil Kekuatan Pengujian geser dengan insert Besi cor Temperatur Penuangan 700, 750 dan 800°C	93
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	96
5.1. Kesimpulan.....	96
5.2. Saran.....	96
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 MODEL HVS-1000 DIGITAL MICROHARDNESS TESTER
- A.5 ADC 12
- A.6 Komposisi paduan Piston Daihatsu Hi-jet 1000
- A.7 Komposisi paduan Piston bekas
- A.8 Komposisi paduan ADC 12
- A.9 Komposisi paduan 25% piston bekas + 75% ADC 12
- A.10 Komposisi paduan 50% piston bekas + 50% ADC 12
- A.11 Komposisi paduan 75% piston bekas + 25% ADC 12
- A.12 Komposisi paduan ST 60
- A.13 Komposisi paduan besi cor

Lampiran B Data Dan Perhitungan

- B.1 Perhitungan Uji Kekerasan Mikro Vickershardness
- B.2 Perhitungan Kekuatan Uji geser (*Shear Strength*)
- B.3 Ketebalan Interface pada piston Bimetal

Lampiran C Dokumentasi Penelitian

- C.1 Material Piston Bekas & ADC 12
- C.2 Cetakan Protipe piston & Cetakan Piston
- C.3 *Insert* ST 60 dan Besi cor
- C.4 Proses peleburan material & pemanasan awal cetakan
- C.5 Permesinan untuk pembuatan specimen uji
- C.6 Pengujian Kekerasan Mikro
- C.7 Pengujian Kekuatan geser

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh Suhu Pada Kelarutan Hidrogen Dalam Aluminium.....	7
Gambar 2.2	Diagram Fasa Al-Si.....	10
Gambar 2.3	Struktur mikro Paduan Al-Si.....	11
Gambar 2.4	Komponen-Komponen dari Material Duralumin.....	12
Gambar 2.5	Langkah kerja mesin.....	14
Gambar 2.6	Bagian-bagian piston	15
Gambar 2.7	Gaya yang bekerja pada piston.....	16
Gambar 2.8	Keausan adesif.....	18
Gambar 2.9	Keausan yang terjadi pada langkah piston.....	19
Gambar 2.10	Piston bimetalik.....	21
Gambar 2.11	Prototipe cetakan piston bimetalik.....	21
Gambar 2.12	(a) Inti disangga dengan <i>chaplet</i> , (b) <i>chaplet</i> , (c) hasil coran dengan lubang pada bagian dalamnya.....	25
Gambar 2.13	Interface Antara Cairan Logam Dengan Cetakan Logam Dan Juga Cetakan Pasir.....	26
Gambar 2.14	Tahapan Dalam Pengecoran dengan Cetakan Permanen.....	28
Gambar 2.15	Dua Jenis ladell Yang Umumnya Digunakan a) Ladell kran b) Ladell Dua Orang.....	29
Gambar 2.16	Proses Pembuatan Piston.....	32
Gambar 2.17	Ilustrasi Proses Pengujian komposisi Dan Proses Penyesuain.....	33
Gambar 2.18	Identasi Dengan Metode Vicker.....	34
Gambar 2.19	Metode Menentukan Lokasi Pemotongan Untuk Menunjukkan Area Yang di Mikrografi.....	36
Gambar 2.20	a) Piston Paduan Aluminium Dengan Penyisip Besi Cor b) Pandangan Bagian Hubungan Piston Al-Si.....	42
Gambar 2.21	a) Pembesaran Pada Zona Ikatan Pada piston DiQuenching Udara (x50) b) Pembesaran pada Zona Ikatan Pada Piston di Quenching Udara (x1500).....	42

Gambar 2.22	Dimensi specimen pengujian geser.....	44
Gambar 2.23	Diagram Skematik Pushout Test.....	45
Gambar 2.24	Pengujian Material Piston Bimetal Menggunakan Batang Baja Kerucut pada Pushout Test.....	45
Gambar 3.1.	Piston Daihatsu Hi-Jet 1000 Buatan Jepang.....	46
Gambar 3.2	Limbah Piston Bekas Yang berasal Dari motor Bensin.....	47
Gambar 3.3	Material ADC 12.....	47
Gambar 3.4	Material Penyisip (<i>Insert</i>) a) Besi Cor b) Baja karbon menengah ST 60.....	48
Gambar 3.5	Cetakan alur ring Piston Dengan Proses Penuangan Gravitasi.....	48
Gambar 3.6	Cetakan piston.....	49
Gambar 3.7	Proses Peleburan Material a) Dapur Peleburan limbah Piston Bekas b) Dapur Pemanasan awal Cetakan dan Insert.....	49
Gambar 3.8	Termometer Digital.....	50
Gambar 3.9.	Mikroskop Olympus BX 41M.....	50
Gambar 3.10.	Microhardness Tester Model HVS-1000S.....	51
Gambar 3.11	UTM model WE-100B.....	51
Gambar 3.12	Mesin Grinding double Disk.....	52
Gambar 3.13	Mesin CNC Turning Master TMC 320.....	52
Gambar 3.14.	Diagram Alir Penelitian.....	53
Gambar 3.15	Dimensi Specimen Uji Geser.....	56
Gambar 3.16	Skematik Pengujian Pushout Test.....	56
Gambar 4.1.	Diagram Fasa paduan AL-Si dan struktur mikro.....	61
Gambar 4.2	Struktur Mikro Material Piston Daihatsu Hi-Jet 1000 dengan Pembesaran 1000x	62
Gambar 4.3	Posisi pengambilan specimen dan letak penekanan identer.....	63
Gambar 4.4	Struktur mikro hasil pengecoran Material limbah Piston Bekas dengan Pembesaran Mikroskop 1000x.....	65
Gambar 4.5	Pembuatan Protipe Material Piston Berbasis Limbah Material	

	piston Bekas Dengan Penambahan ADC 12 Disertai insert Besi Cor dan ST 60.....	69
Gambar 4.6.	Specimen Pengujian Struktur mikro.....	72
Gambar 4.7.	Hasil Pengamatan Struktur Mikro Hasil pengecoran Limbah Piston Yang Dikuatkan dengan Insert ST 60 dan Temperatur penuangan 700°C	74
Gambar 4.8.	Hasil Pengamatan Struktur Mikro Hasil pengecoran Limbah Piston Yang Dikuatkan dengan insert ST 60 dan Temperatur penuangan 750°C.....	76
Gambar 4.9.	Hasil Pengamatan Struktur Mikro Hasil pengecoran Limbah Piston Yang Dikuatkan dengan Insert ST 60 dan Temperatur penuangan 800°C.....	78
Gambar 4.10.	Hasil Pengamatan Struktur Mikro Hasil pengecoran Limbah Piston Yang Dikuatkan dengan Insert Besi Cor dan Temperatur penuangan 700°C.....	80
Gambar 4.11.	Hasil Pengamatan Struktur Mikro Hasil pengecoran Limbah Piston Yang Dikuatkan dengan Insert Besi Cor dan Temperatur penuangan 750°C.....	82
Gambar 4.12.	Hasil Pengamatan Struktur Mikro Hasil pengecoran Limbah Piston Yang Dikuatkan dengan Insert Besi Cor dan Temperatur penuangan 800°C.....	84
Gambar 4.13	Penambahan ADC 12 a) komposisi paduan 25%PB + 75%ADC 12 b) 50% PB + 50% ADC 12.....	85
Gambar 4.14.	Intermetalik Fe-Al-Si Pada Interface layer hasil Dari Interaksi Antara Fe dengan Al.....	85
Gambar 4.15	a) <i>Interface layer</i> piston dengan pendinginan air (50X) b) <i>interface layer</i> piston dengan pendinginan air (1500X).....	86
Gambar 4.16.	Pengujian Kekerasan Mikro Dengan Vickershardness.....	87
Gambar 4.17	Posisi penekanan identer vickers.....	87

Gambar 4.18.	Kekerasan Mikro Lapisan Intermetalik Hasil pengecoran Limbah piston Yang Dikuatkan Dengan Insert ST 60 (HVN).....	89
Gambar 4.19	Kekerasan Mikro Lapisan Intermetalik Hasil pengecoran Limbah piston Yang Dikuatkan Dengan Insert Besi Cor (HVN).....	90
Gambar 4.20	Skematis laju pembekuan logam coran.....	90
Gambar 4.21.	Pengujian geser Dengan UTM.....	91
Gambar 4.22	Kekuatan Geser lapisan Intermetalik Hasil pengecoran Limbah piston Yang Dikuatkan Dengan Insert ST 60 (MPa).....	93
Gambar 4.23	Kekuatan Geser lapisan Intermetalik Hasil pengecoran Limbah piston Yang Dikuatkan Dengan Insert Besi Cor (MPa).....	94

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi paduan aluminium cor digunakan dalam bentuk cor.....	6
Tabel 2.2	Sifat-sifat fisik aluminium.....	8
Tabel 2.3	Sifat-sifat mekanik aluminium.....	8
Tabel 2.4	Tipe tingkatan silikon pada paduan casting paling populer.....	12
Tabel 2.5	Koefisien pertambahan panjang.....	17
Tabel 2.6	Koefisien gesek.....	17
Tabel 2.7	Koefisien aus pada permukaan.....	18
Tabel 2.8	Standarisasi piston.....	20
Tabel 2.9	Tipe-tipe penyusutan pola pada material cetakan.....	24
Tabel 2.10	Karakteristik bahan pola.....	24
Tabel 2.11	Berbagai jenis cetakan.....	27
Tabel 2.12	Waktu pembekuan pengecoran aluminium dari beberapa proses pengecoran.....	30
Tabel 2.13.	Macam-macam pisau pemotong material.....	36
Tabel 2.14.	Ukuran grit amplas berdasarkan standart Eropa dan USA.....	38
Tabel 2.15.	Persiapan material uji mikrografi material lunak dibawah 45 HRC.....	39
Tabel 2.16.	Jenis-jenis Etsa kimia pada uji mikrografi material.....	41
Tabel 3.1.	Diskripsi pengambilan data.....	59
Tabel 4.1	Hasil uji komposisi material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000.....	60
Tabel 4.2.	Nilai Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i> B material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000.....	63
Tabel 4.3.	Hasil uji komposisi material limbah piston bekas.....	64
Tabel 4.4.	Nilai Pengujian Kekerasan <i>Rockwell</i> B material limbah piston bekas....	66
Tabel 4.5.	Komposisi paduan eksperimen pembuatan piston.....	69
Tabel 4.6.	Komposisi <i>insert</i> besi cor.....	70
Tabel 4.7.	Komposisi <i>insert</i> ST 60.....	70
Tabel 4.8.	Komposisi ADC 12.....	70

Tabel 4.9.	Ketebalan interface layer protipe Piston bimetal.....	86
Tabel 4.10.	Hasil kekerasan mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan insert ST 60 pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C	88
Tabel 4.11.	Hasil kekerasan mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan insert besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C	88
Tabel 4.12.	Hasil pengujian kekuatan geser hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan insert ST 60 pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C.....	92
Tabel 2.13.	Hasil pengujian kekuatan geser hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan insert besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C.....	92

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama	Pemakaian Pertama Kali Pada halaman
CAD	<i>Computer Aided Design</i>	2
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>	2
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>	2
AA	<i>Aluminum Association</i>	6
FCC	<i>Face center cubic</i>	8
ADC	<i>Aluminum Die Casting</i>	11
ESD	<i>Duralumin Super Ekstra</i>	14
ASTM	<i>American Standart for Testing Material</i>	30
HRB	<i>Hardness Rockwell B</i>	30
VHN	<i>Vickers Hardness Number</i>	33
EDM	<i>Electric Discharge Machining</i>	35
UTM	<i>Universal Testing Machining</i>	42
CNC	<i>Computer Numerical Control</i>	51
ASM	<i>American standart of material</i>	59
PB	Piston bekas	67
 Lambang		
Wt %	Presentase berat paduan	7
γ	Gamma	10
β	Beta	10
B	Ball	30
P	Besar beban	33
D	Rata-rata	33
N	Nomor besar butir	42
T	Nilai kekuatan geser	43

X	Panjang sisi	43
Y	Panjang tengah	43
T	Ketebalan	43
D	Jarak pergeseran insert	43
HR	Harga rata-rata	61
%EL	Presentase mulur	69

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan paduan aluminium terus meningkat dari tahun ketahun. Hal ini terlihat dari urutan penggunaan logam paduan aluminium yang menempati urutan kedua setelah penggunaan logam besi atau baja, dan di urutan pertama untuk logam *non ferro* (Smith, 1995). Sekarang ini kebutuhan aluminium di Indonesia per tahun mencapai 200.000 hingga 300.000 ton dengan harga US\$ 3.305 per ton (Noorsy, 2007).

Pemakaian aluminium pada industri otomotif terus meningkat sejak tahun 1980 (Budinski, 2001). Komponen otomotif yang terbuat dari paduan aluminium, antara lain adalah piston, blok mesin, kepala silinder, katup dan sebagainya. Ini berkaitan dengan jumlah kendaraan di Indonesia tahun 2005 mencapai 38.156.278 buah terdiri dari roda dua 28.556.498 buah dan roda empat 9.559.780 buah (Kepolisian Republik Indonesia, 2005). Jika hitungan kasar bahwa penggantian kerusakan piston yang terbuat dari paduan aluminium setiap tahunnya 3-4% dikalikan jumlah kendaraan, maka jumlah piston 2.255.017 dikalikan 3 ons berat piston rata-rata, ditemukan jumlah total berat piston yang diganti yaitu 6.765,5 ton. Jika 1 ton aluminium dengan harga US\$ 3.305 berarti jumlah uang keseluruhan US\$ 2.235.849 (Rp 23 Milyar) atau dengan perkataan lain, bila Indonesia dapat menggunakan piston daur ulang maka dapat menghemat 23 milyar rupiah.

Piston bekas didaur ulang menjadi piston baru yang kualitasnya diharapkan sama dengan piston original. Piston merupakan salah satu dari *spare part* untuk kendaraan bermotor yang sangat vital dan sering dilakukan pergantian setiap *overhould*. Yang jadi masalah untuk mobil-mobil tua atau mobil klasik untuk mencari *spare part* yang original, sekarang sudah tidak ada karena pabrik dari perusahaan mobil sudah tidak memproduksi. Maka dari itu perlu dilakukan *reverse engineering* untuk pembuatan piston. Proses *reverse engineering* terdiri dari tiga proses yaitu CAD (*computer aided design*), CAE (*computer aided engineering*) dan CAM

(*computer aided manufacturing*) (Vinesh, 2008). Salah satu proses yaitu proses CAE mempelajari komposisi dan karakteristik material dalam hal ini material piston.

Piston terbuat dari paduan aluminium dan silikon. Paduan ini memiliki daya tahan terhadap korosi, abrasi dan koefisien pemuaian yang rendah, dan juga mempunyai kekuatan yang tinggi, kesemua sifat tersebut merupakan sifat yang harus dimiliki oleh material piston (Cole, 1995).

Untuk memperoleh paduan Al-Si yang sesuai dengan sifat mekanik material piston telah dilakukan beberapa inovasi dalam proses pengecoran, diantaranya adalah proses pengecoran gravitasi, cetak tekan (*squeeze casting*), penyemprotan plasma (*plasma spraying*), metalurgi serbuk (*powder metallurgy*) dan *insert* logam (*metal insert*) (John, 1994).

Agar piston hasil daur ulang bisa digunakan dengan baik dan tahan lama, maka perlu dilakukan *treatment* (perlakuan) untuk memperbaiki sifat aluminium piston hasil pengecoran ulang. Karena biasanya sifat dan kualitas piston hasil pengecoran ulang tidak bisa sama dengan piston dari bahan baku baru yaitu paduan Al-Si.

Pada penelitian ini, fokus masalah yang ingin dipelajari adalah bagaimana membuat piston berbasis material piston bekas dan ADC 12 yang diperkuat dengan *insert* besi cor (*cast iron*) dan baja karbon menengah (ST 60) yang berfungsi untuk meningkatkan sifat aus alur ring piston saat beroperasi. Tanpa *insert* biasanya bagian pertama yang sering gagal adalah alur pertama ring piston.

Dipilihnya metode *insert* logam pada pembuatan piston daur ulang karena dari beberapa penelitian yang telah dilakukan memakai metode *squeeze casting* aluminium dengan *insert mild steel* (Durrant, 1996) menggunakan *insert* besi cor metode *plasma sprayed* memanfaatkan metode *under hydrostatic pressure* (Kim, 2005) menunjukkan bahwa *insert mild steel* pada paduan aluminium dapat meningkatkan dan memperbaiki sifat-sifat paduan aluminium (Vaillant, 1995).

1.2 Perumusan Masalah

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

Piston merupakan komponen penting dalam kendaraan bermotor, karena piston memegang peranan penting dalam proses pembakaran dalam ruang bakar. Sehingga material untuk piston merupakan material dengan spesifikasi khusus dan biasanya digunakan bijih aluminium untuk membuat paduannya. **Mengingat ketersediaan bijih aluminium yang semakin menipis, maka perlu dilakukan Penelitian tentang daur ulang aluminium piston dan ADC 12 untuk dibuat menjadi piston baru dengan memakai *insert* yang memiliki kualitas dan sifat yang tidak kalah dengan piston dari bahan paduan aluminium (Al-Si).**

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah studi pembuatan piston berbasis material piston bekas dan ADC 12 yang dikuatkan dengan *insert* ST 60 dan besi cor yaitu:

1. Material yang digunakan dalam pengecoran piston yaitu material piston bekas motor bensin dan ADC 12
2. Pengecoran piston menggunakan metode pengecoran gravitasi
3. Suhu yang digunakan pada penuangan bervariasi yaitu pada suhu 700, 750, 800°C dan suhu pemanasan awal cetakan dan insert 450°C.
4. Pengujian material piston meliputi uji komposisi, struktur mikro, kekerasan dan kekuatan geser.
5. Hasil pengecoran adalah prototipe piston bimetal

6. Komposisi optimal hanya ditentukan dari sifat mekanik (kekerasan dan kekuatan geser) tidak ditinjau dari uji ketahanan korosi, perubahan dimensi dan lain sebagainya.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah dapat menjadikan masukan bagi pengembangan bidang ilmu teknologi material, Meningkatkan pengetahuan dan wawasan serta memperkaya khasanah ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang pengujian bahan logam dan juga memberi masukan kepada industri-industri pengecoran kecil maupun pengecoran besar dalam pembuatan piston berbasis material bekas yang kualitasnya sama dengan piston dari material baru yang memiliki daya tahan terhadap korosi, abrasi, koefisien pemuaian yang rendah, dan juga mempunyai kekuatan yang tinggi.

1.5. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah bagaimana memanfaatkan piston bekas dan ADC 12 untuk didaur ulang menjadi piston baru dengan memodifikasi penambahan *insert* pada alur pertama ring piston tersebut.

Selain itu, hal-hal yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Memperoleh komposisi paduan dan *insert* yang terbaik (piston bekas dan ADC 12) yang memiliki sifat-sifat yang bisa mendekati atau menyamai piston original.
2. Membandingkan kualitas *insert* (penyisip) dari ST 60 dan besi cor yang memiliki kekuatan *interface* yang paling baik.
3. Menentukan seberapa besar presentasi ADC 12 terhadap pengaruh *interface* antara beberapa *insert* logam.
4. Membandingkan karakterisasi piston dari limbah piston dengan piston original dari sifat mekanik dan komposisi kimia.

1.6. Sistematika Penulisan

Tesis yang berjudul “Studi Pembuatan Prototipe Material Piston Menggunakan Limbah Piston Bekas dan ADC 12 Yang Diperkuat Dengan *Insert* ST 60 dan Besi cor” dikemukakan dalam 5 bab. Bab I Pendahuluan berisi latar belakang, perumusan masalah, batas masalah, manfaat penelitian, tujuan penelitian dan sistematika penulisan. Bab II Tinjauan pustaka berisi paduan aluminium, langkah kerja piston, standarisasi piston, piston bimetalik, peleburan (*Remelting*), sifat-sifat bahan. Bab III Metode penelitian berisi material penelitian, peralatan penelitian, diagram alir penelitian, variabel penelitian dan analisa data. Bab IV Hasil penelitian dan pembahasan berisi karakterisasi piston original Daihatsu Hi-Jet 1000, identifikasi kualitas hasil peleburan piston bekas, studi perbaikan hasil pengecoran limbah piston dengan penambahan ADC 12 disertai *insert* ST 60 dan besi cor. Tesis ini ditutup dengan Bab V berisi kesimpulan dan saran.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Paduan Aluminium

Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai sifat ketahanan korosi yang baik. Material ini digunakan dalam bidang yang luas bukan hanya untuk peralatan rumah tangga saja tetapi juga dipakai untuk kepentingan industri, misalnya untuk industri pesawat terbang, komponen-komponen mobil, komponen regulator dan konstruksi-konstruksi yang lain.

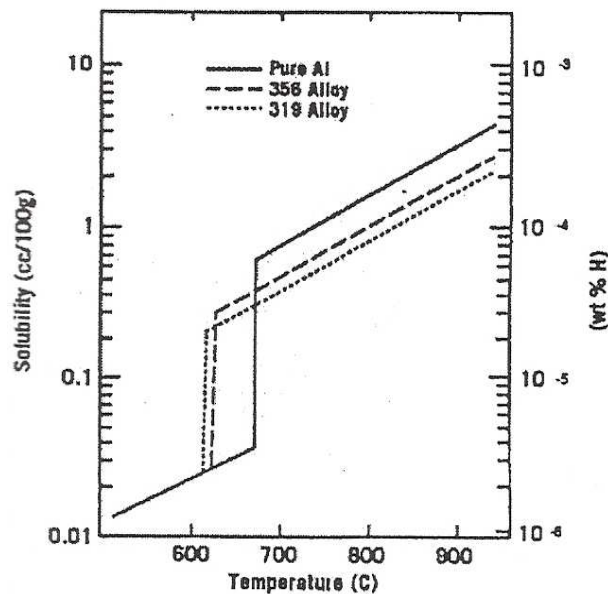
Menurut *Aluminum Association* (AA) dapat diidentifikasi dengan sistem empat digit berdasarkan komposisi paduan seperti xxx.1 dan xxx.2 untuk ingot yang dilebur kembali. Sedangkan simbol xxx.0 untuk menentukan batas komposisi pengecoran dan simbol A356, B356 dan C356 untuk paduan cor gravitasi. Masing-masing paduan ini identik dengan kandungan yang mendominasi tetapi berkurang batas penggunaan karena impuritinya, khususnya kandungan besi. Batas komposisi berdasarkan *Aluminum Association* (AA) telah terdaftar pada paduan cor aluminium yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 tidak meliputi paduan cor bentuk ingot.

Tabel 2.1 Komposisi paduan aluminium digunakan dalam bentuk cor (ASM Handbook vol 15, 1998)

Paduan	Produk	komposisi, %											
		Al	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Sn	Ti	paduan lain	
												lain	total
328.0	S	7.5-8.5	1.0	0.20-0.6	0.20-0.6	0.20-0.7	0.35	0.25	1.5	...	0.25	0.25	0.50
332.0	P	8.5-10.5	1.2	2.0-4.0	0.5	0.50-1.5	...	0.50	1.0	...	0.25	...	0.50
333.0	P	8.0-10.5	1.0	3.0-4.0	0.5	0.05-0.50	...	0.50	1.0	...	0.25	...	0.50
A333.0	P	8.0-10.0	1.0	3.0-4.0	0.5	0.05-0.50	...	0.50	3.0	...	0.25	...	0.50
336.0	P	11.0-13.0	1.2	0.50-1.5	0.35	0.7-1.3	...	2.0-3.0	0.35	...	0.25	0.05	...
339.0	P	11.0-13.0	1.2	15-3.0	0.50	0.50-1.5	...	0.50-1.5	1.0	...	0.25	...	0.50
343.0	D	6.7-7.7	1.2	0.50-0.9	0.50	0.10	0.10		1.2-2.0	0.50	...	0.10	0.35
354.0	P	8.6-9.4	0.2	1.6-2.0	0.1	0.40-0.6	...	...	0.1	...	0.2	0.05	0.15

Neff (2002) dalam papernya menjelaskan bahwa untuk memenuhi tuntutan pasar dari aluminium tuang dewasa ini harus memfokuskan pada peningkatan kualitas logam dengan pengembangan pada proses peleburan. Proses difokuskan pada eliminasi berbagai kotoran yaitu *inklusi* yang merupakan problem serius dalam memproduksi hasil coran yang berkualitas. *Inklusi* yang dimaksud adalah gas hidrogen yang dapat larut pada aluminium cair yang menyebabkan porositas pada pengecoran. Daya larut hidrogen meningkat bila temperatur naik. Tingkat kelarutan hidrogen pada paduan aluminium tidak sama yang ditunjukkan pada grafik digambar 2.1. Pada saat pembekuan gas hidrogen masih tersisa sehingga pada hasil pengecoran terdapat cacat.

Dijelaskan pula bahwa tidak semua porositas diakibatkan oleh gas hidrogen tetapi disebabkan pula oleh penyusutan (*shrinkage*). Penyusutan yang terjadi pada saat aluminium membeku sebesar 6% dari volume, ketika aluminium bertransformasi dari cair ke padat. Dalam tabel 2.2 dan tabel 2.3 menunjukkan sifat fisik dan sifat mekanik aluminium yang mempengaruhi kualitas dari hasil cor.



Gambar 2.1 Grafik pengaruh temperatur terhadap kelarutan hidrogen pada aluminium (John, 1994)

Tabel 2.2 Sifat fisik aluminium (John, 1994)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)	
	99,996	>99,0
Massa jenis (g/cm ³) (20°C)	26,989	2,71
Titik Cair (°C)	660,2	653 - 657
Panas Jenis (cal/g°C) (100°C)	0,2226	0,2297
Hantaran Jenis (%)	64,94	59 (dianil)
Tahanan Listrik Koefisien temp (/°C)	0,00429	0,0115
Koef Pemuaian (20-100°C) (mm ³)	23,86 X 10 ⁻⁶	23,5 x 10 ⁻⁶
Jenis Kristal, Konstanta kisi	fcc, a = 4,013	fcc, a = 4,04

Tabel 2.3 Sifat mekanik aluminium (John, 1994)

Sifat-sifat	Kemurnian Al (%)			
	99,996		>99,0	
	Dianil	75% dirol dingin	Dianil	75% dirol dingin
Kekuatan tarik (kg/mm ²)	4,9	11,6	9,3	16,9
Kekuatan Mulur (0,2%) (kg/mm ²)	1,3	11,0	3,5	14,8
Perpanjangan (%)	48,8	5,5	35	5
Kekerasan Brinell (BHN)	17	27	23	44

Pengaruh unsur-unsur pepadu pada paduan aluminium adalah sebagai berikut:

a. Silikon (Si)

Unsur Si dalam paduan aluminium mempunyai pengaruh positif :

- Meningkatkan sifat mampu alir (*Hight Fluidity*).
- Mempermudah proses pengecoran
- Meningkatkan daya tahan terhadap korosi
- Memperbaiki sifat-sifat atau karakteristik coran
- Menurunkan penyusutan dalam hasil cor
- Tahan terhadap *hot tear* (perpatahan pada *metal casting* pada saat solidifikasi karena adanya kontraksi yang merintang)

Pengaruh negatif yang ditimbulkan unsur Si berupa:

- Penurunan keuletan bahan terhadap beban kejut jika kandungan silikon terlalu tinggi.

b. Tembaga (Cu)

Pengaruh baik yang dapat timbul oleh unsur Cu dalam paduan aluminium:

- Meningkatkan kekerasan bahan dengan membentuk presipitat
- Memperbaiki kekuatan tarik
- Mempermudah proses pengerjaan dengan mesin.

Pengaruh buruk yang dapat ditimbulkan oleh unsur Cu :

- Menurunkan daya tahan terhadap korosi
- Mengurangi keuletan bahan dan
- Menurunkan kemampuan dibentuk dan dirol

c. Unsur Magnesium (Mg)

Magnesium memberikan pengaruh baik yaitu:

- Mempermudah proses penuangan
- Meningkatkan kemampuan pengerjaan mesin
- Meningkatkan daya tahan terhadap korosi
- Meningkatkan kekuatan mekanis
- Menghaluskan butiran kristal secara efektif
- Meningkatkan ketahanan beban kejut atau impak.

Pengaruh buruk yang ditimbulkan oleh unsur Mg:

- Meningkatkan kemungkinan timbulnya cacat pada hasil pengecoran

d. Unsur besi (Fe)

Pengaruh baik yang dapat ditimbulkan oleh unsur Fe adalah :

- mencegah terjadinya penempelan logam cair pada cetakan.

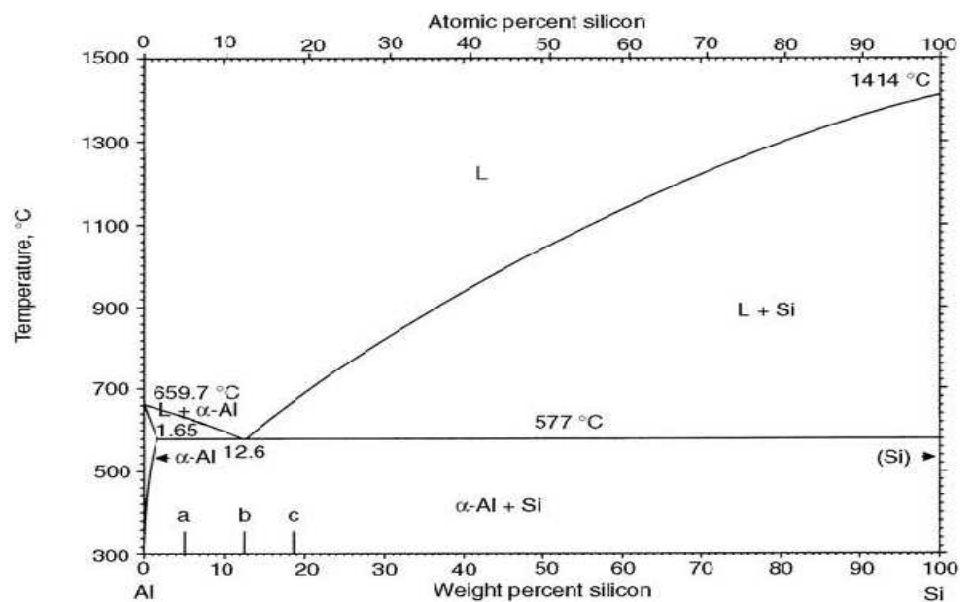
Pengaruh buruk yang dapat ditimbulkan unsur paduan ini adalah :

- Penurunan sifat mekanis
- Penurunan kekuatan tarik
- Timbulnya bintik keras pada hasil coran
- Peningkatan cacat porositas.

Macam–macam paduan aluminium dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. 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 piston kendaraan (Surdia, 1992).



Gambar 2.2. Diagram fasa Al-Si (ASM International, 2004)

Pada diagram fasa Al-Si (gambar 2.2) dapat dibagi tiga daerah yaitu:

a. Daerah *Hipoeutektik*

Pada daerah ini terdapat kandungan silikon < 11,7% dimana struktur mikro akhir yang terbentuk pada fasa ini adalah fasa α – aluminium dan eutektik

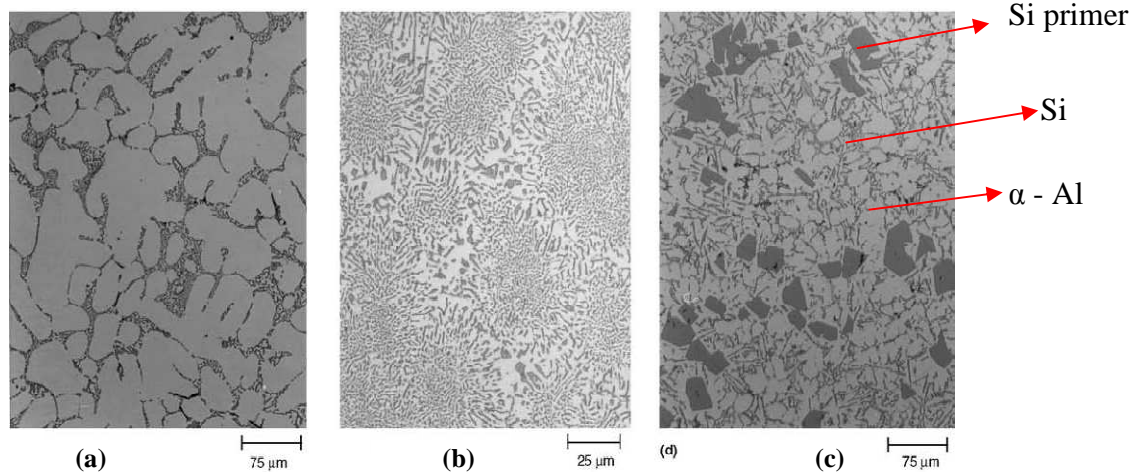
(gelap) yang kaya aluminium yang memiliki kekerasan 90 HB, Struktur mikro *hipoeutektik* diperlihatkan pada gambar 2.3a

b. Daerah Eutektik

Pada komposisi ini paduan Al-Si dapat membeku secara langsung (dari fase cair ke padat). Kandungan silikon yang terkandung didalamnya sekitar 11.7% sampai 12.2% untuk struktur mikro eutektik bisa dilihat pada gambar 2.3b. Material ini memiliki kekerasan 105 HB dan uji tarik 248 MPa sehingga banyak diaplikasikan pada komponen dengan tekanan yang tinggi, seperti: *crank case, wheel hub, cylinder barrel*. (ASM Handbook vol 15, 1998)

c. Daerah *Hypereutectic*

Struktur mikro *hypereutectic* pada gambar 2.3c menunjukkan Komposisi silikon diatas 12.2% sehingga kaya akan silikon dengan fasa eutektik sebagai fasa tambahan dan memiliki kekerasan 110 HB. Contoh *aluminium alloy* jenis ini : AC8H, A.339 (lihat tabel 2.1)



Gambar 2.3 Struktur mikro paduan Al-si (a) Struktur mikro paduan hypoeutectic (1.65-12.6 wt% Si). 150X. (b) Struktur mikro paduan eutectic (12.6% Si). 400X. (c) Struktur mikro paduan hypereutectic (>12.6% Si). 150X (ASM International, 2004)

Tipe paduan tergantung pada presentase kandungan silikon ini akan berpengaruh terhadap titik beku (*freezing point*) yang dipakai pada proses pengecoran aluminium yang bisa dilihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 kandungan Si berpengaruh terhadap temperatur titik beku paduan aluminium (ASM International, 2004)

Alloy	Si conten	BS alloy	Typical freezing range (°C)
Low silicon	4 - 6 %	LM4	625 – 525
Medium Silicon	7,5 - 9,5 %	LM25	615 – 550
Eutectic alloys	10 -13 %	LM6	575 – 565
Special hypereutectic alloys	> 16 %	LM30	650 – 505

2. 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 dinamakan *duralumin* ini sering diaplikasikan pada rangka sepeda motor, *pulley*, roda gigi, velg mobil yang diperlihatkan pada gambar 2.4. Paduan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg dapat ditingkatkan kekerasannya dengan proses *natural aging* setelah *solution heat treatment* dan *quenching*.

Studi tentang logam paduan ini telah banyak dilakukan salah satunya adalah Nishimura yang telah berhasil dalam menemukan senyawa *turner* yang berada dalam keseimbangan dengan Al, yang kemudian dinamakan senyawa S dan T. Ternyata senyawa S (Al_2CuMg) mempunyai kemampuan penuaan pada temperatur biasa. Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg dipakai sebagai bahan dalam industri pesawat terbang.



Gambar 2.4. Komponen-komponen dari material *duralumin* (Surdia, 1992)

3. 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.

4. 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).

5. 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, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi juga digunakan untuk kabel tenaga (Surdia, 1992).

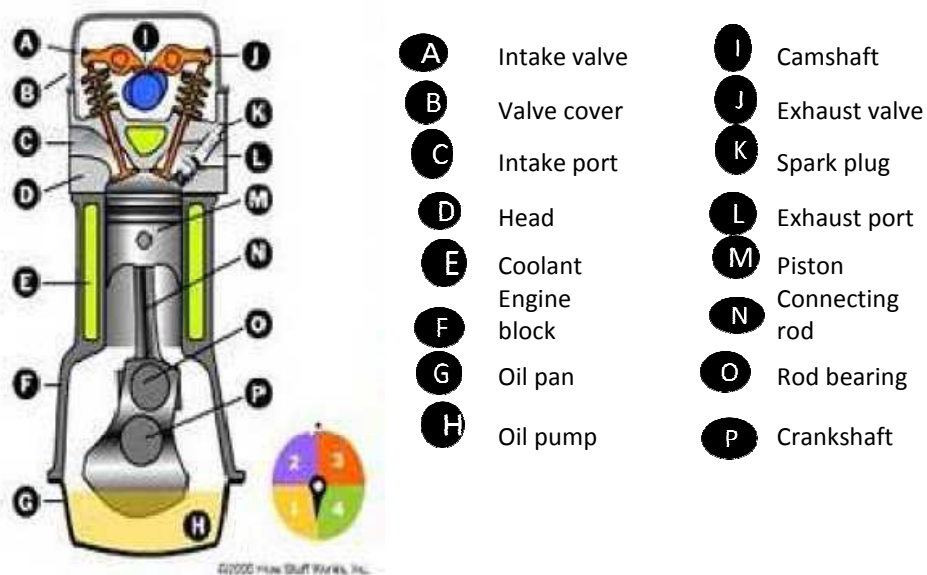
6. Paduan Al-Mn-Zn

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. Penggunaan paduan ini paling

besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara, disamping itu juga digunakan dalam bidang konstruksi (Surdia, 1992).

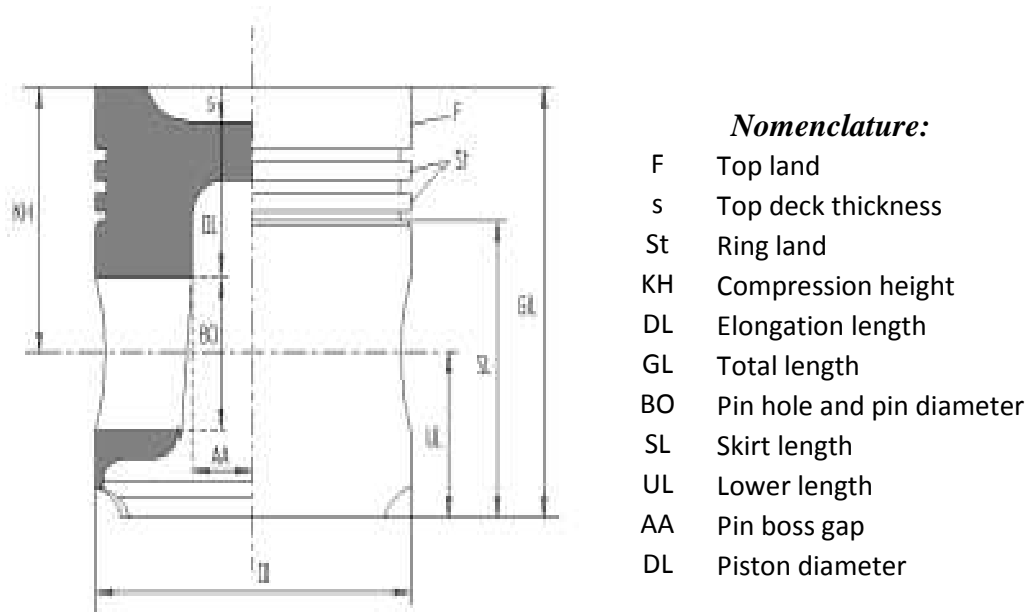
2.2 Langkah kerja piston

Piston dalam bahasa Indonesia juga dikenal dengan istilah torak. Piston adalah komponen dari mesin pembakaran dalam yang berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima hentakan pembakaran pada ruang bakar silinder. Dilanjutkan batang penghubung (*connecting rod*) untuk menghubungkan dengan poros engkol yang bergerak naik-turun di dalam silinder untuk melakukan langkah isap, kompresi, pembakaran dan buang. (gambar 2.5)



Gambar 2.5 Langkah kerja mesin (www.wirro.blogspot.com)

Selanjutnya ring piston menyekat ruang pembakaran dan *crankcase*, panas dari ruang bakar diteruskan ke oil yang berfungsi sebagai pendingin dan pelumas. Skirt piston bertindak sebagai penyangga beban untuk menjaga piston benar-benar searah lubang silinder dan juga peredam suara waktu piston bergerak. Piston terdiri dari beberapa bagian, yang setiap bagian mempunyai fungsi dan kegunaan masing-masing (gambar 2.6).



Gambar 2.6 Bagian-bagian piston (Andersson, 2002)

Proses pembakaran pada motor bensin terjadi akibat ledakan busi di dalam silinder sehingga menaikkan suhu udara tekan dalam ruang bakar, kemudian disempotkan bahan bakar bensin ke dalam silinder yang telah berisi campuran bensin dan udara. Setelah bahan bakar bersentuhan dengan percikan busi maka terjadilah proses pembakaran. Proses pembakaran bahan bakar ini menimbulkan temperatur dan tekanan di dalam silinder menjadi sangat tinggi dan gas pembakaran mampu mendorong piston dengan tenaga yang besar sehingga terjadi gesekan pada dinding silinder dan ring piston.

Pemasangan ring piston pada alur piston harus selalu menekan dinding silinder dengan gaya pegasnya. Hal ini menambah besarnya gaya gesek ring piston, dinding piston dengan dinding silinder. Peningkatan temperatur yang terjadi pada ruang bakar menyebabkan terjadinya pemuaian material ring piston dan lebih lanjut mengadakan tekanan ke dinding silinder dan alur ring piston. Hal ini juga menyumbang besarnya gaya gesek terhadap alur ring piston.

Kekasaran permukaan bidang kontak antara dinding piston dengan silinder dengan adanya gaya gesek yang besar, menyebabkan keausan pada dinding piston semakin mudah. Material piston memiliki sifat lunak dan tidak tahan panas akan mudah aus pada dinding piston. Pemilihan material piston sangat penting karena

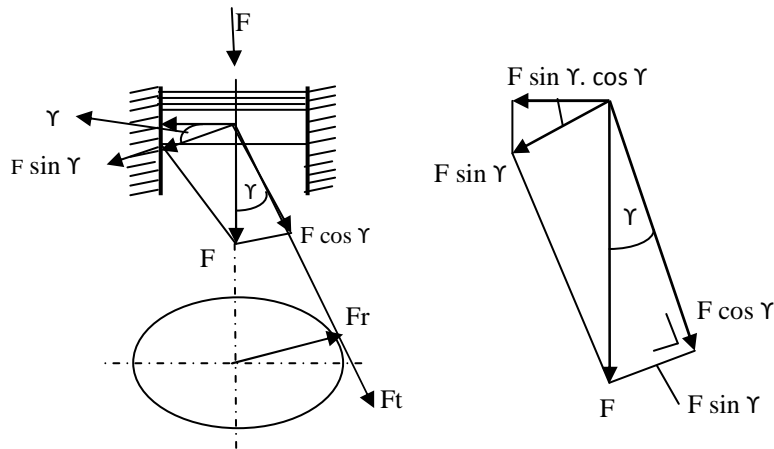
piston memegang peranan utama jalanya mesin. Berikut ini hal-hal yang harus diperhatikan sebelum mendesain piston.

a) Gaya yang terjadi akibat adanya pembakaran dalam ruang bakar

Tekanan hasil pembakaran pada ruang bakar akan mendorong piston dengan gaya (F). Besar gaya tersebut adalah hasil kali tekanan (P_z) akibat pembakaran yang kemudian mendorong penampang piston (A). Gaya ini akan terurai menjadi gaya keliling (F_t) pada poros engkol dan gaya yang menekan dinding ($F \sin \gamma$) sebagaimana pada gambar 2.7 Gaya tekan dinding yang diuraikan tegak lurus sumbu silinder sebesar $F \cdot \sin \gamma \cdot \cos \gamma$, gaya ini akan direaksi oleh dinding silinder dan dinding piston dengan besar yang sama dan arahnya berlawanan, kemudian disebut gaya normal.

$$F_N = F \times \sin \gamma \times \cos \gamma \quad (2.1)$$

Gaya normal ini sebagai penentu besarnya gaya gesek pada dinding piston.



Gambar 2.7 Gaya yang bekerja pada piston (Tjahjono, 2005)

b) Gaya akibat pengaruh panas

Material piston yang terkena panas akan terjadi pemuaian yang dominan kearah memanjang (melingkar). Pertambahan panjang piston adalah $\Delta l = l_0 \cdot \lambda \cdot \Delta t$, dimana l_0 panjang awal piston, λ koefisien pertambahan panjang (tabel 2.5) dan Δt perubahan temperatur.

Tabel 2.5 Koefisien pertambahan panjang (Khurmi, 1984)

Logam	Koefisien pertambahan panjang pada 20°C (μm/m/°C)
Aluminium	23
Cast iron	9
Nikel	12.8
Steel C 15	11.1
Tungsten	4.5

Besarnya gaya akibat temal dapat dicari dari rumus teggangan yaitu:

$$F_t = E \frac{l_0 \cdot \lambda \Delta t}{l_0} \quad (2.2)$$

dimana, E modulus elastis material piston.

c) Gaya gesek pada piston dengan dinding silinder

Kekasaran permukaan antara bidang kontak dinding silinder dengan ring piston merupakan penghambat gerakan piston, gaya penghambat pada piston ini dinamakan gaya gesek (F_{gesek}).

$$F_{\text{gesek}} = \mu \times N \quad (2.3)$$

Dimana, gaya tekan dinding merupakan penjumlahan akibat pembakaran bahan bakar dan perubahan temperatur piston ($N = F_N + F_t$). Besarnya gaya gesek juga ditentukan oleh tingkat kekasaran permukaan, yang besarnya dapat ditunjukkan seperti pada tabel 2.6

Tabel 2.6 Koefisien gesek (Khurmi, 1984)

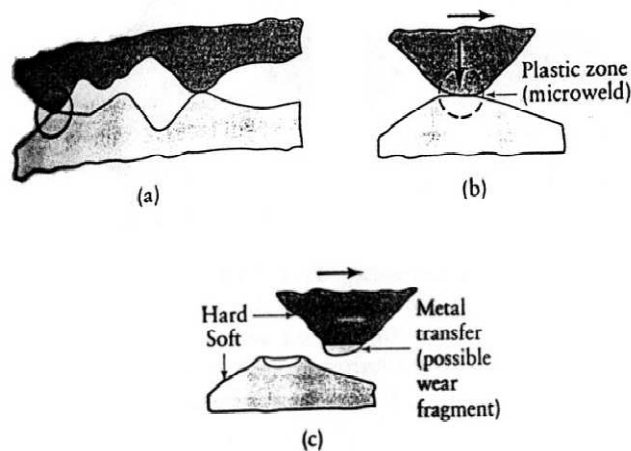
Proses	Koefisien gesek (μ)	
	Cold	Hot
Rolling	0.05-0.1	0.2-0.7
Forging	0.05-0.1	0.1-0.2
Drawing	0.03-0.2	-
Sheet-metal forming	0.05-0.1	0.1-0.2
Machining	0.5-0.4	-

d) Volume keausan pada piston

Bila suatu gaya geser diberikan pada dua permukaan material akan menyebabkan keausan permukaan sepanjang lintasan. Mekanisme keausan adesif dapat dilihat seperti pada gambar 2.8 (a) kontak dua kekasaran, (b) adesif antara dua kekasaran dan (c) pembentukan partikel keausan. Volume material yang aus dari permukaan (V) adalah:

$$V = k \times \frac{L \times W}{3 \times p} \quad (2.4)$$

dimana, k adalah koefisien aus (tabel 2.7) L langkah piston (mm), W gaya normal (Kgf), p tekanan pada dinding piston (kg/mm^2).



Gambar 2.8 Keausan adesif (Khurmi, 1984)

Tabel 2.7 Koefesien aus pada permukaan (Khurmi, 1984)

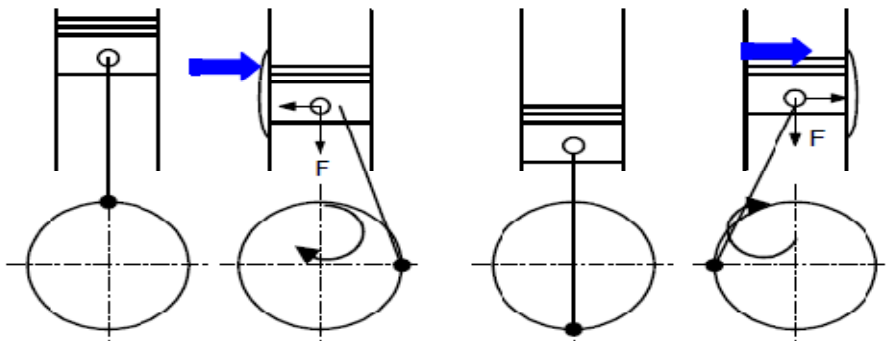
Tanpa Pelumasan	k
Mild steel on mild steel	$10^{-2} - 10^{-3}$
60-40 brass on hardened tool steel	10^{-3}
Hardened tool steel on hardened tool steel	10^{-4}
Polytetrafluoroethy (PTFE) on tool steel	10^{-5}
Tungsten carbide on mild steel	10^{-4}

2.3 Standarisasi piston

Keausan yang paling banyak pada piston adalah pada alur ring piston terjadi diantaranya langkah torak atau $\frac{1}{2}$ langkah torak yang ditunjukkan pada gambar 2.9. Karena besar sudut antara *connecting rod* dan sumbu silinder juga mempengaruhi. Apabila sudut yang dibentuk oleh *connecting rod* dengan sumbu silinder kecil maka keausan yang terjadi pada piston akan kecil, apabila sudut yang dibentuk besar maka keausan pada dinding piston besar pula. Maka material piston harus mempunyai persyaratan umum yang harus dipenuhi sebelum dibentuk menjadi piston, antara lain:

- Konduktifitas panas yang tinggi
- Densitas rendah
- Memiliki kekuatan tinggi dibawah variasi temperatur
- Tahan aus
- Ekspansi panas yang baik
- Ketahanan tinggi terhadap deformation dan fatik
- Memiliki sifat luncur yang bagus

Jenis material piston bermacam-macam dari paduan ringan, besi cor, besi cor nodular dan baja paduan, tetapi untuk piston yang digunakan pada mesin kecepatan tinggi biasanya dibuat dari material paduan aluminium-silikon (Andersson, 2002). Maka pembuatan piston perlu referensi standarisasi dari pabrik sebagai acuan penggunaan dan aplikasinya. Biasanya standarisasi piston mencakup dari komposisi kimia, dimensi, proses perlakuan dan sifat mekanik yang berfungsi sebagai informasi (tabel.2.8)



Gambar 2.9 Keausan yang terjadi pada langkah piston (Tjahjono, 2005)

Tabel 2.8. Standarisasi piston (www.alibaba.com)

Place of origin	CHONGQING CINA
Size	86mm, 86.5mm, 87mm
Brand name	YOUFU PISTON
Heat treatment	T6 atau T61
Tensile strength, yield	315 MPa or 340 MPa
Car make	NISSAN
Model Number	RB26 DETT
Hardness (HB)	HB 125-135
Fatigue endurance limit	110 MPa or 115 MPa
Material of aluminium alloy	4032 or 2618
Tensile strength ultimate	400 MPa or 440 MPa

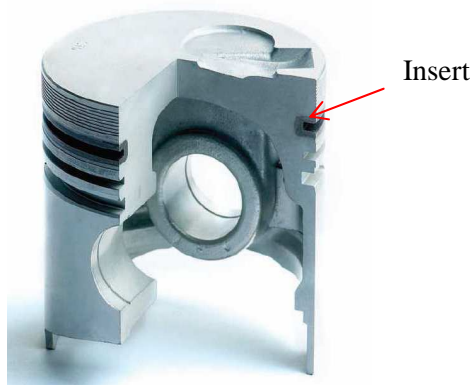
2.4 Piston Bimetalik

Untuk aplikasi pada bidang properti otomotif, material harus mempunyai sifat rigid, kuat, mempunyai ketahanan panas dan ketahanan fatik pada temperatur tinggi. Penggunaan paduan aluminium dengan penambahan besi cor dan baja karbon menengah merupakan salah satu alternatif pemilihan material yang tepat untuk aplikasi tersebut.

Material bimetalik yaitu material yang tersusun atas dua logam yang berbeda dengan presentase 10-20% berat komponen (Durrant, 1996). Dimana salah satu material yang digunakan sebagai penguat (*reinforcement*) dapat berupa material keramik atau material logam. Material keramik yang biasa digunakan sebagai penguat adalah Al_2O_3 , C, SiC dan sebagainya. Sedangkan Penguat logam yang dapat digunakan adalah besi cor dan baja karbon menengah (Vaillant, 1995).

Penggunaan penguat dari bahan keramik sangat sukar untuk dilakukan tetapi hasil yang didapat sangat rigid seperti logam keras. Metode penguatan dengan penyisipan bahan keramik ini juga membutuhkan biaya produksi yang relatif lebih mahal dibandingkan dengan penyisipan material logam kedalam paduan aluminium (Vaillant, 1995). Berbeda dengan penguat keramik, penguat logam dalam proses pembuatannya tidak begitu sulit dan hasilnya juga baik.

Penggunaan logam besi cor dan baja karbon menengah akan memperbaiki kekuatan logam bimetalik (Viala, 2002). Peningkatan kekuatan logam bimetalik tersebut disebabkan karena besi cor dan baja karbon menengah memiliki sifat bawaan kuat dan liat, sehingga ketika dipadu menjadi logam bimetal, sifat tersebut masih melekat. Gambar 2.10 menunjukkan sebuah contoh bahan bimetalik pada piston dengan menambahkan *insert* pada alur ring piston yang berfungsi meningkatkan sifat aus pada alur piston.



Gambar 2.10 Piston bimetalik (Uthayakumar, 2008)

Pembuatan prototipe piston bimetalik yaitu dengan cara menyisipkan logam pada cetakan yang terletak pada ring alur pertama, bentuk cetakan bisa dilihat pada gambar 2.11. Selanjutnya menuangkan cairan piston bekas ke dalam rongga cetakan tanpa tekanan. Setelah membeku cetakan dibuka dengan alat bantu.



Gambar 2.11 Prototipe cetakan piston bimetalik

2.5 Peleburan (*melting*)

Untuk 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 bentuk 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 peleburan yang baik mengharuskan dapur dan logam yang dimasukkan dalam keadaan bersih.

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

Hidrogen adalah satu-satunya gas yang dapat timbul dalam aluminium dan paduannya. Persentase timbulnya gas hidrogen lebih banyak terdapat pada aluminium dalam bentuk cair daripada dalam bentuk padat. Beberapa sumber potensial timbulnya hidrogen pada aluminium antara lain:

- Udara dalam tungku (*furnace*) menggunakan bahan bakar terkadang menimbulkan gas hidrogen yang disebabkan oleh reaksi pembakaran bahan bakar yang kurang sempurna.
- Terjadinya asap hasil pembakaran pada waktu proses peleburan.
- Reaksi antara aluminium cair dengan cetakan

Sebelum dilakukan peleburan di dalam tungku sebaiknya logam dipotong menjadi kecil-kecil, hal ini bertujuan untuk menghemat waktu peleburan dan mengurangi kehilangan komposisi karena oksidasi. Setelah material mencair, fluks

dimasukkan ke dalam coran, yang bertujuan untuk mengurangi oksidasi dan absorpsi gas serta dapat bertujuan untuk mengangkat kotoran-kotoran yang menempel pada aluminium.

Selama pencairan, permukaan harus ditutup fluks dan cairan diaduk pada jangka waktu tertentu untuk mencegah segregasi (Surdia, 1991). Kemudian kotoran yang muncul di ambil dan dibuang. Setelah pada suhu kurang lebih 725°C aluminium di tuang ke dalam cetakan. Adapun untuk *remelting*, material hasil peleburan di atas dilebur kembali.

Pengecoran merupakan proses tertua yang dikenal manusia dalam pembuatan benda logam. Proses pengecoran dengan menggunakan cetakan logam yang terbuat dari baja perkakas atau H13 (John, 1994) meliputi: pembuatan cetakan, persiapan dan peleburan logam, penuangan logam cair kedalam cetakan, pembersihan coran dan proses perakitan cetakan.

a. Pembuatan pola

Pola merupakan bagian yang penting dalam proses pembuatan benda cor, karena itu yang akan menentukan bentuk dan ukuran dari benda cor. Pola yang digunakan untuk benda cor biasanya terbuat dari kayu, resin, lilin dan logam. Kayu dapat dipakai untuk membuat pola karena bahan tersebut harganya murah dan mudah dibuat dibandingkan pola logam. Oleh karena itu pola kayu umumnya dipakai untuk cetakan pasir. Biasanya kayu yang dipakai adalah kayu serui, kayu aras, kayu mahoni, kayu jati dan lain-lain (Surdi, 1982).

Sementara itu pola bisa dikatakan sebuah tiruan benda kerja yang akan diproduksi dengan teknik pengecoran, dengan toleransi atau suaian ukuran sesuai perhitungan pengecoran. Ukuran pola, biasanya lebih besar dari benda kerja dan hampir semua material cair, volumenya akan menyusut saat membeku. pada tabel 2.9. menunjukkan material cetakan yang mengalami suaian penyusutan. Untuk mengantisipasi perubahan bentuk saat pembekuan, karena terjadi tegangan dalam pada sudut-sudut atau bentuk-bentuk khusus, misalnya U, V, dan lain-lain

Tabel 2.9 Tipe-tipe penyusutan pola pada material cetakan (ASM International, 2004)

Alloy being Cast	Allowance	Approximate shrinkage, %	Shrinkage allowance	
			mm/m	in/ft
Steel	1 in 64	1,6	15/7	3/16
Gray cast iron	2 in 100	1,0	2	1/10
Ductile cast iron	3 in 120	0,8	7/8	3/32
Aluminium	4 in 77	1,3	13/1	5/32
Brass	5 in 70	1,4	14/4	11/64

Macam-macam pola pada cetakan logam

1. Pola tunggal (*Single piece pattern*)
2. Pola belahan (*Split pattern*)
3. Pola pelat belahan (*Match plate pattern*)
4. Pola cup dan drag (*Cope & drag pattern*)
5. Pola bagian lepas (*Loose-piece pattern*)
6. Pola sapuan (*Sweep pattern*)

Bahan pola Secara garis besar pola digolongkan menjadi dua yaitu tidak dapat habis (*non-expendable*) contohnya *Styroform*, lilin (*wax*) dan resin sintesis (*polyurethane*) dan yang dapat habis (*expendable*) contohnya kayu dan logam. Pada tabel 2.10 menunjukkan karakteristik dari bahan pola pada cetakan yang menjadi pertimbangan pada desain pola, toleransi dimensi yang diperlukan adalah jumlah coran yang akan dihasilkan

Tabel 2.10 Karakteristik bahan pola (ASM Handbook Vol 15,1998)

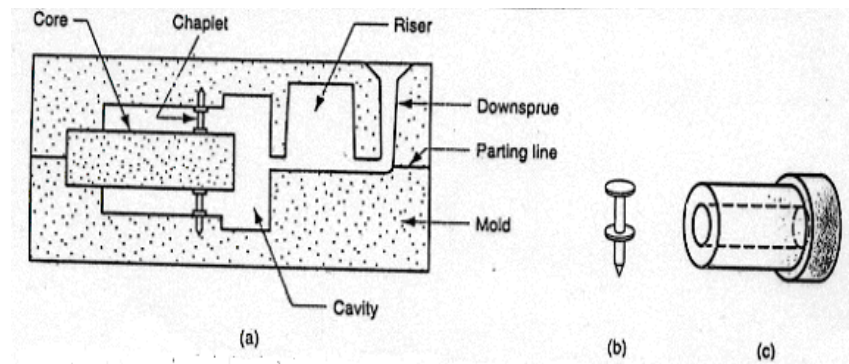
Characteristic	Pattern material			
	Wood	Aluminium	Cast iron	Polyurethane
Machinability	E	G	F	G
Wear resistance	P	G	E	E
Strength	P	G	E	F
Repairability	E	F	G	E
Corrosion resistance	E	E	P	E

E, Excellent. G, Good. F, Fair. P, poor.

b. Pembuatan inti

Menurut Surdi.T dan Shinkoru (1982) mengatakan bahwa inti adalah suatu bentuk dari pasir yang dipasang pada rongga cetakan, fungsi dari inti adalah untuk mencegah pengisian logam pada bagian yang berbentuk lubang atau rongga suatu coran. Inti harus memiliki kekuatan yang memadai dan juga mempunyai polaritas (Amstead, 1987).

Disamping itu inti harus mempunyai permukaan yang halus dan tahan panas. Inti yang mudah pecah harus diperkuat dengan kawat, selain itu harus dicegah kemungkinan terapungnya inti dalam logam cair. Pemasangan inti didalam rongga cetak kadang-kadang memerlukan pendukung (*support*) agar posisinya tidak berubah yang tunjukan pada gambar 2.12. Pendukung tersebut disebut *chaplet*, yang dibuat dari logam yang memiliki titik lebur yang lebih tinggi dari pada titik lebur benda cor. Sebagai contoh, *chaplet* baja digunakan pada penuangan besi tuang, setelah penuangan dan pembekuan *chaplet* akan melekat ke dalam benda cor. bagian *chaplet* yang menonjol ke luar dari benda cor selajutnya dipotong.



Gambar 2.12 (a) Inti disangga dengan *chaplet*, (b) *chaplet*, (c) hasil coran dengan lubang pada bagian dalamnya (Surdia, 1982)

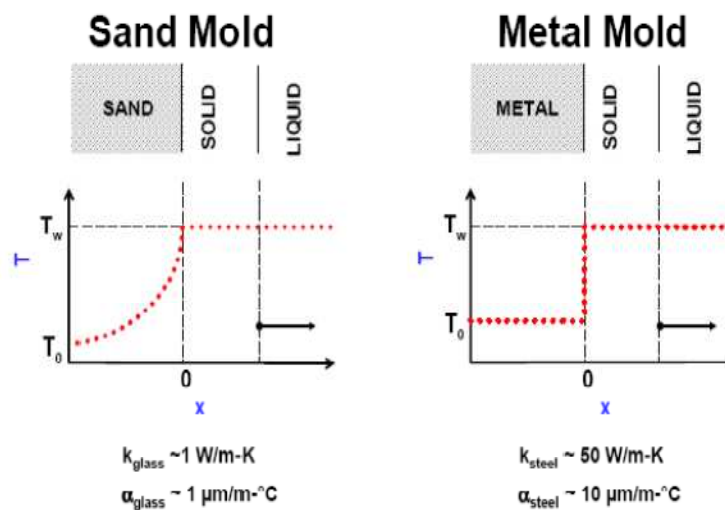
c. Pembuatan cetakan

Cetakan berfungsi untuk menampung logam cair yang akan menghasilkan benda cor. Macam-macam cetakan adalah:

1. Cetakan pasir

Cetakan dibuat dengan jalan memadatkan pasir, pasir yang akan digunakan adalah pasir alam atau pasir buatan yang mengandung tanah lempung. Pasir ini biasanya dicampur pengikat khusus, seperti air, kaca, semen, resin ferol, minyak pengering. Bahan tersebut akan memperkuat dan mempermudah operasi pembuatan cetakan (Surdia, 1982). Pasir cetak harus mempunyai sifat-sifat yang baik dalam proses penuangan meliputi:

- Distribusi besar butir pasir.
- Kadar air atau kadar aditif dalam pasir cetak.
- Hubungan antara permeabilitas, kekuatan geser, dan kekuatan tekan terhadap kadar air serta bahan aditif dalam pasir cetak.
- Mampu bentuk (*flowability*) dari pasir cetak.
- Perbedaan karakteristik antara pasir basah (*green sand*), pasir kering (*dry sand*), dan pasir kering tanpa dengan pemanasan (*holding sand*).



Gambar 2.13 Interface antara cairan logam dengan cetakan logam dan juga cetakan pasir (AFS sand and core testing handbook, 2002)

Tabel 2.11 Berbagai jenis cetakan (AFS sand and core testing handbook, 2002)

Process	Cost *			Production rate (Pc/Hr)
	Die	Equipment	labor	
Sand	L	L	L-M	< 20
Shell-Mold	L-M	M-H	L-M	< 50
Plaster	L-M	M	M-H	< 10
Investment	M-H	L-M	H	< 100
Permanent mold	M-H	M	L-M	< 60
Die	H	H	L-M	< 200
Centrifugal	M	H	L-M	< 50

* L, Low : M, Medium: H, High

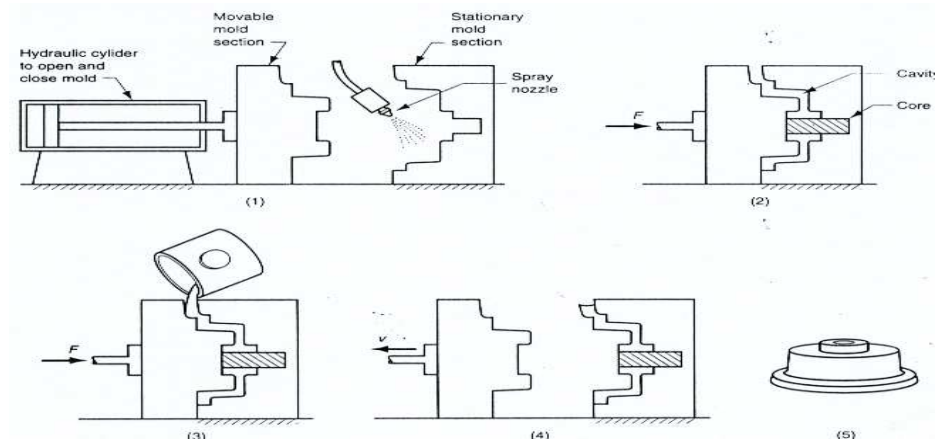
Diketahui bahwa penggunaan cetakan pasir juga akan memiliki keuntungan dalam kontrol laju pendinginan bila dibandingkan dengan penggunaan cetakan logam konvensional yang cenderung lebih cepat dan dapat menimbulkan beberapa kerugian pada produk hasil pengecorannya yang grafiknya ditunjukkan pada gambar 2.13 dan berdasarkan tabel 2.11 diketahui bahwa penggunaan pasir cetakan membutuhkan modal awal (untuk *die* maupun perlengkapan penyokong) dan tenaga kerja yang lebih sedikit.

Walaupun kapasitas produksinya lebih kecil namun, penggunaan metode *sand casting* amat cocok untuk industri manufaktur kecil. Karena keunggulan-keunggulan tersebut maka pasir lebih banyak digunakan untuk membuat cetakan dibandingkan dengan bahan lainnya (keramik dan logam).

2. Cetakan logam

Cetakan ini dibuat dengan menggunakan bahan yang terbuat dari logam. Cetakan jenis logam biasanya dipakai untuk industri-industri besar yang jumlah produksinya sangat banyak, sehingga sekali membuat cetakan dapat dipakai untuk selamanya. Cetakan logam harus terbuat dari bahan yang lebih baik dan lebih kuat dari logam coran, karena dengan adanya bahan yang lebih kuat maka cetakan tidak akan terkikis oleh logam coran yang akan di tuang.

Pengecoran cetakan permanen menggunakan cetakan logam yang terdiri dari dua bagian untuk memudahkan pembukaan dan penutupannya. Pada umumnya cetakan ini dibuat dari bahan baja atau besi tuang (John, 1994). Logam yang biasa dicor dengan cetakan ini antara lain aluminium, magnesium, paduan tembaga, dan besi tuang. Pengecoran dilakukan melalui beberapa tahapan seperti ditunjukkan dalam gambar 2.14



Gambar 2.14 Tahapan pengecoran dengan cetakan permanen (Surdia, 1982)

Berbagai pengecoran cetakan permanen yang terbuat dari cetakan logam:

- Pengecoran tuang (*slush casting*)
- Pengecoran bertekanan rendah (*low pressure casting*)
- Pengecoran cetakan permanen vakum (*vacuum permanent mold casting*)
- Pengecoran cetak tekan (*die casting*)
- Pengecoran Sentritugal

d. Peleburan (pencairan logam)

Untuk mencairkan bahan coran diperlukan alat yang namanya dapur pemanas. Dalam proses peleburan bahan coran ada dua dapur pemanas yang digunakan yaitu dengan menggunakan dapur kupola atau dengan menggunakan dapur tanur induksi. Kedua jenis dapur tersebut yang sering digunakan oleh industri adalah tanur induksi frekuensi rendah karena mempunyai beberapa keuntungan (surdia, 1982). Keuntungan tersebut adalah mudah mengontrol komposisi yang teratur, kehilangan

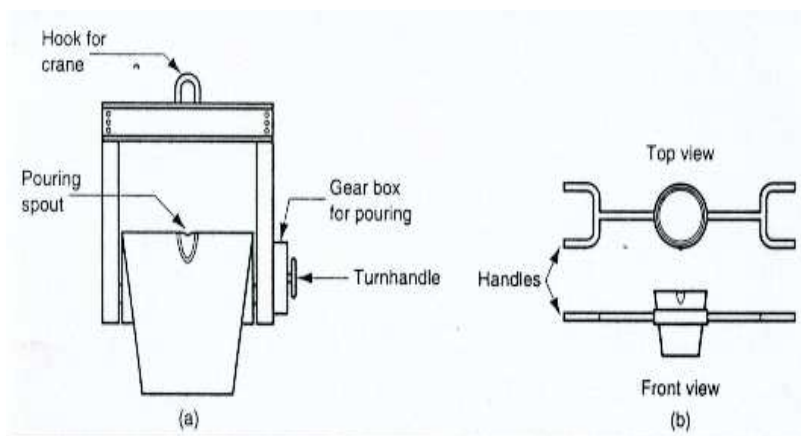
logam yang sedikit, kemungkinan menggunakan logam yang bermutu rendah, efisiensi tenaga kerja, dapat memperbaiki persyaratan kerja. Beberapa jenis dapur peleburan yang sering digunakan dalam bengkel cor adalah:

1. Kupola
2. Dapur pembakaran langsung (*direct fuel-fired furnance*),
3. Dapur krusibel (*crusibel furnance*),
4. Dapur busur listrik (*electrical-arc furnance*),
5. Dapur induksi (*induction furnance*).

Pemilihan dapur tergantung pada beberapa faktor, seperti paduan logam yang akan dicor, temperatur lebur dan temperatur penuangan, kapasitas dapur yang dibutuhkan, biaya investasi, pengoperasian, pemeliharaan, polusi terhadap lingkungan.

e. Penuangan

Penuangan adalah memindahkan logam cair dari dapur pemanas ke dalam cetakan dengan bantuan alat yang disebut ladle yang ditunjukkan pada gambar 2.15 kemudian dituangkan ke dalam cetakan. Ladle berbentuk kerucut dan biasanya terbuat dari plat baja yang terlapis oleh batu tahan api. Saat penuangan diusahakan sedekat mungkin dengan dapur sehingga dapat menghindari logam coran yang membeku sebelum sampai ke cetakan yang diinginkan.



Gambar 2.15 Dua jenis ladle yang umum digunakan (a) ladle kran, dan (b) ladle dua orang (Surdia, 1982).

Waktu pembekuan aluminium dalam cetakan dapat diketahui pada tabel 2.12 dimana material dan proses cetakan sangat berpengaruh terhadap cepat lambatnya pendinginan.

Tabel 2.12 Waktu pembekuan pengecoran aluminium dari beberapa proses pengecoran. (John, 1994).

<i>Casting process</i>	<i>Mould material</i>	<i>Solidification time (second)</i>
Permanent mould	Steel	47
Core	Silica Sand	175
	Zilicon sand	80
Disamatic	Silica / clay	85

(from Hansen P.N., Kasmussen N.W., Andersen U. & M. AFS trans, 104, 1996,p. 873)

f. Membongkar dan membersihkan coran

Pada prinsipnya pembongkaran hasil pengecoran logam dari cetakan dilakukan secara langsung atau mekanis. Setelah benda cetakan membeku atau dingin sampai temperatur rendah., cetakan dibongkar, tempat pembongkaran harus memiliki sarana ventilasi udara yang baik. Setelah produk coran membeku dan dikeluarkan dari cetakan, selanjutnya dilakukan beberapa tahapan pekerjaan lanjutan yaitu :

1. Pemangkasan (*trimming*)
2. Pelepasan inti
3. Pembersihan permukaan
4. Pemeriksaan
5. Perbaikan (*repair*) bila diperlukan

g. Pemeriksaan coran

Pada proses pengecoran pemeriksaan hasil coran mempunyai tujuan yang memelihara kualitas dan penyempurnaan teknik. Dari pemeriksaan maka akan diketahui kekurangan suatu proses yang telah dilakukan, dimana adanya kekurangan tersebut akan meningkatkan hasil yang berkualitas. Untuk mendapatkan sifat

aluminium yang baru bisa dilakukan dengan jalan menambahkan unsur-unsur paduan kedalam aluminium murni. Namun ada juga yang melakukan penggabungan beberapa paduan aluminium dengan jalan pengecoran (penuangan) untuk memperoleh sifat mekanis bahan yang lebih baik.

Berikut ini adalah proses pengecoran pada aluminium tuang pembuatan piston dibuat dengan memanaskan paduan Al-Si hingga sampai mencair, kemudian cairan paduan Al-Si dituang dalam cetakan piston. Untuk itu dapat dilihat pada gambar 2.16 menunjukkan langkah-langkah dalam pembuatan piston:



a. Penuangan cairan Al-Si kedalam cetakan



b. Pengambilan Piston dari cetakannya



c. Proses machining pembentukan piston



d. Machining pembentukan alur piston



e. Proses finising (pengerjaan akhir Piston)



f. Proses pengecekan akhir piston

Gambar 2.16 Proses pembuatan piston (Stephen, 2004)

2.6 Sifat-sifat bahan

1. Komposisi

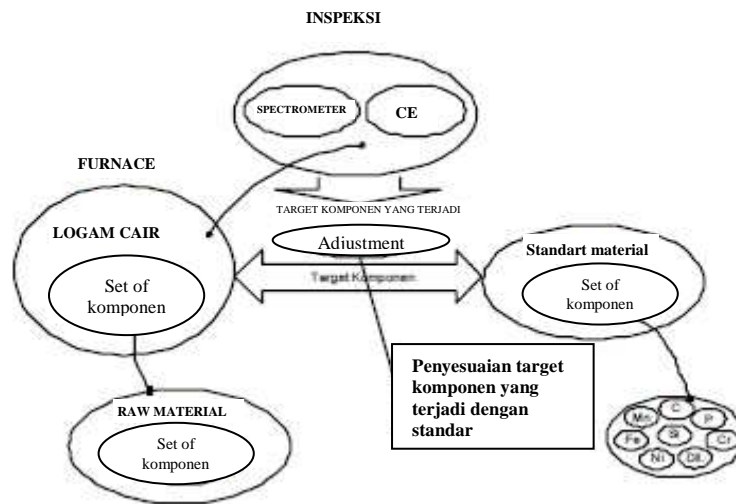
Uji komposisi merupakan pengujian yang berfungsi untuk mengetahui seberapa besar atau seberapa banyak jumlah suatu kandungan yang terdapat pada suatu logam, baik logam *ferro* maupun logam *non ferro*. Uji komposisi biasanya dilakukan ditempat pabrik-pabrik atau perusahaan logam yang jumlah produksinya besar, ataupun juga terdapat di Institut pendidikan yang khusus mempelajari tentang logam.

Proses pengujian komposisi berlangsung dengan pembakaran bahan menggunakan elektroda dimana terjadi suhu rekristalisasi, dari suhu rekristalisasi terjadi penguraian unsur yang masing-masing beda warnanya. Penentuan kadar berdasar sensor perbedaan warna. Proses pembakaran elektroda ini tidak lebih dari tiga detik. Pengujian komposisi dapat dilakukan untuk menentukan jenis bahan yang digunakan dengan melihat persentase unsur yang ada.

Untuk mengetahui komposisi logam cair dilakukan inspeksi logam cair. Alat uji yang digunakan *CE meter* atau *spektrometer*. Seperti yang dijelaskan sebelumnya setelah diketahui komposisi logam cair dengan pengujian komposisi dilakukan proses

penyesuaian untuk mencapai komposisi yang sesuai dengan standar. Pada gambar 2.17 ada tiga bagian utama proses pengujian komposisi yaitu (Hendri, 2002).

1. *Furnace* berisi logam cair yang dilebur dari beberapa *raw material*
2. Standar material yang menentukan kandungan komposisi masing-masing unsur yang ditetapkan
3. Proses pengujian komposisi yang menggunakan *CE meter* dan *Spectrometer*.



Gambar 2.17 Ilustrasi proses pengujian komposisi dan proses penyesuaian (Hendri, 2002)

2. Kekerasan aluminium

Kekerasan aluminium dapat didefinisikan sebagai ketahanan logam terhadap indentasi. Nilai kekerasan berkaitan dengan kekuatan luluh logam karena selama indentasi logam mengalami deformasi plastis. Luluh merupakan proses *slip*, luncur atau kembaran. Pada proses *slip*, struktur kisi antara daerah *slip* dan daerah tanpa *slip* terdislokasi. Batas antara daerah *slip* dan daerah tanpa *slip* disebut garis lokasi.

Pengujian kekerasan adalah satu pengujian dari sekian banyak pengujian yang dipakai, karena dapat dilaksanakan pada benda uji yang relatif kecil tanpa kesukaran. Mengenai spesifikasi benda uji. Pengujian yang banyak dipakai adalah dengan cara menekankan identer tertentu kepada benda uji dengan beban tertentu dan mengukur bekas hasil penekanan yang terbentuk di atasnya (Surdia, 1991).

Terdapat tiga jenis umum mengenai ukuran kekerasan yang tergantung pada cara melakukan pengujian. Ketiga jenis tersebut adalah kekerasan goresan, keraskan lekukan dan kekerasan pantulan. Akan tetapi pengujian yang sering dilakukan adalah pengujian penekanan. Pada pengujian penekanan terdapat beberapa alat uji yang dapat digunakan, antara lain alat uji *Brinell*, *Vickers*, *Rockwell* dan *Microhardness*

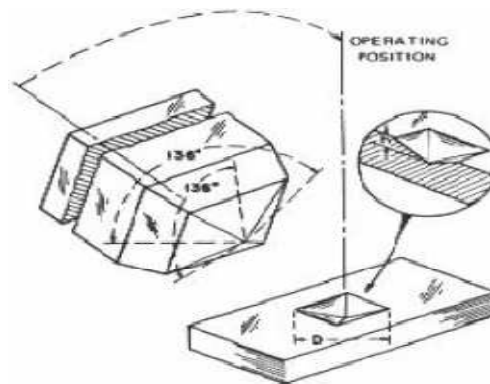
Banyak masalah metalurgi yang membutuhkan penentuan kekerasan pada permukaan yang sangat kecil misalnya penentuan kekerasan pada permukaan terkarburasi, daerah difusi dua material yang berbeda dan penentuan kekerasan pada komponen jam tangan. Untuk pengujian spesimen-spesimen sangat kecil ini, metode yang paling digunakan adalah *Vickershardness test* untuk prosedur pengujian menggunakan referensi ASTM E 92

Pada metode ini digunakan indenter intan berbentuk piramida dengan sudut 136° , seperti diperlihatkan oleh Gambar 2.18. Prinsip pengujian adalah sama dengan metode Brinell, walaupun jejak yang dihasilkan berbentuk bujur sangkar berdiagonal. Panjang diagonal diukur dengan skala pada mikroskop pengukur jejak. Untuk menghitung nilai kekerasan suatu material menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VHN = \frac{1.854 P}{d^2} \quad (2.5)$$

Dimana P = Besar beban (Kg)

d = Rata-rata diameter pijakan identer d_1 dan d_2



Gambar 1.18 Indentasi dengan metode Vickers (ASTM E E92, 2004).

3. Struktur Mikro

Struktur mikro adalah struktur terkecil yang terdapat dalam suatu bahan yang keberadaannya tidak dapat di lihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro diantaranya; mikroskop cahaya, *mikroskop electron*, *mikroskop field ion*, *mikroskop field emission* dan mikroskop sinar-X. Penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya, adapun manfaat dari pengamatan struktur mikro ini adalah:

1. Mempelajari hubungan antara sifat-sifat bahan dengan struktur dan cacat pada bahan.
2. Memperkirakan sifat bahan jika hubungan tersebut sudah diketahui.

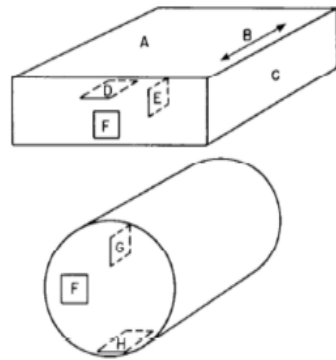
Langkah-langkah untuk melakukan pengamatan struktur mikro dapat memakai referensi ASTM E3 dari persiapan sampel dan prosedur pengujian mikroskop sebagai berikut :

a. *Cutting* (Pemotongan)

Pemilihan sampel yang tepat dari suatu benda uji studi mikroskopik merupakan hal yang sangat penting. Pemilihan sampel tersebut didasarkan pada tujuan pengamatan yang hendak dilakukan. Pada umumnya bahan komersil tidak homogen, Sehingga satu sampel yang diambil dari suatu volume besar tidak dapat dianggap representatif.

Pengambilan sampel harus direncanakan sedemikian sehingga menghasilkan sampel yang sesuai dengan kondisi rata-rata bahan atau kondisi di tempat-tempat tertentu (kritis) yang mana ditunjukkan pada gambar 2.19 dengan memperhatikan kemudahan pemotongan pula. Secara garis besar, pengambilan sampel dilakukan pada daerah yang akan diamati mikrostruktur maupun makrostrukturnya. Sebagai contoh, untuk pengamatan struktur mikro material yang mengalami kegagalan.

Maka sampel diambil sedekat mungkin pada daerah kegagalan (pada daerah kritis dengan kondisi terparah), untuk kemudian dibandingkan dengan sampel yang diambil dari daerah yang jauh dari daerah gagal. Perlu diperhatikan juga bahwa dalam proses memotong, harus dicegah kemungkinan deformasi dan panas yang berlebihan. Oleh karena itu, setiap proses pemotongan harus diberi pendinginan yang memadai.



Symbol in diagram	Suggested designation
A	Rolled Surface
B	Direction of rolling
C	Rolled edge
D	Plannar edge
E	Longitudinal section perpendicular to rolled surface
F	Transverse section
G	Radial longitudinal section
H	Tangential longitudinal section

Gambar 2.19 Metode menentukan lokasi pemotongan untuk menentukan area yang dimikrografi (ASTM Handbook E18, 2002).

Ada beberapa sistem pemotongan sampel berdasarkan media pemotong yang digunakan, yaitu meliputi proses pematahan, pengguntingan, penggergajian, pemotongan abrasi (*abrasive cutter*), gergaji kawat, dan EDM (*Electric Discharge Machining*) yang bisa dilihat pada Tabel 2.13. Berdasarkan tingkat deformasi yang dihasilkan, teknik pemotongan terbagi menjadi dua, yaitu:

- Teknik pemotongan dengan deformasi yang besar, menggunakan gerinda
- Teknik pemotongan dengan deformasi kecil, menggunakan *diamond saw*

Tabel 2.13. Macam-macam pisau pemotong material (ASTM Handbook E18, 2002)

Hardness HV	Materials	abrasive	Bond	Bond Hardness
Up to 300	non-ferrous (Al, Cu)	SiC	P or R	Hard
Up to 400	non-ferrous (Ti)	SiC	P or R	med hard
Up to 400	soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	Hard
Up to 500	Medium soft ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	med hard
Up to 600	Medium hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R	Medium
Up to 700	hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	med soft
Up to 800	very hard ferrous	Al ₂ O ₃	P or R&R	Soft
> 800	extremely hard ferrous	CBN	P or R	Hard
	more brittle ceramics	diamond	P or R	very hard
	tougher ceramics	diamond	M	ext hard

P – phenolic
R – rubber
R&R - resin and rubber
M – Metal

b. *Mounting*

Spesimen yang berukuran kecil atau memiliki bentuk yang tidak beraturan akan sulit untuk ditangani khususnya ketika dilakukan pengamplasan dan pemolesan akhir. Sebagai contoh adalah spesimen yang berupa kawat, spesimen lembaran logam tipis, potongan yang tipis dan lain-lain. Untuk memudahkan penanganannya, maka spesimen-spesimen tersebut harus ditempatkan pada suatu media (*media mounting*). Secara umum syarat-syarat yang harus dimiliki bahan mounting adalah :

- Bersifat *inert* (tidak bereaksi dengan material maupun zat etsa)
- Sifat eksoterimis rendah
- Viskositas rendah
- Penyusutan linier rendah
- Sifat adesif baik
- Memiliki kekerasan yang sama dengan sampel
- Flowabilitas baik, dapat menembus pori, celah dan bentuk ketidakteraturan yang terdapat pada sampel
- Khusus untuk *etsa elektrolitik* dan pengujian SEM, bahan mounting harus konduktif

Media mounting yang dipilih haruslah sesuai dengan material dan jenis *reagen etsa* yang akan digunakan. Pada umumnya mounting menggunakan material plastik sintetik. Materialnya dapat berupa resin (*castable resin*) yang dicampur dengan *hardener* atau *bakelit*. Penggunaan *castable resin* lebih mudah dan alat yang digunakan lebih sederhana dibandingkan bakelit, karena tidak diperlukan aplikasi panas dan tekanan. Namun bahan *castable resin* ini tidak memiliki sifat mekanis yang baik (lunak) sehingga kurang cocok untuk material-material yang keras. Teknik mounting yang paling baik adalah menggunakan *thermosetting resin* dengan menggunakan material *bakelit*. Material ini berupa bubuk yang tersedia dengan warna yang beragam. *Thermosetting mounting* membutuhkan alat khusus, karena dibutuhkan aplikasi tekanan (4200 lb/in^2) dan panas (149°C) pada cetakan saat mounting.

c. *Grinding (Pengamplasan)*

Sampel yang baru saja dipotong, atau sampel yang telah terkorosi memiliki permukaan yang kasar. Permukaan yang kasar ini harus diratakan agar pengamatan struktur mudah untuk dilakukan. Pengamplasan dilakukan dengan menggunakan kertas amplas yang ukuran butir abrasifnya dinyatakan dengan mesh. Urutan pengamplasan harus dilakukan dari nomor mesh yang rendah (150 mesh) ke nomor mesh yang tinggi (2000 mesh) bisa dilihat pada tabel 2.14. Ukuran grit pertama yang dipakai tergantung pada kekasaran permukaan dan kedalaman kerusakan yang ditimbulkan oleh pemotongan.

Tabel 2.14. Ukuran grit amplas berdasarkan standart Eropa dan USA (ASTM Handbook E18, 2002).

FEPA		ANSI/CAMI	
Grit Number	Size (µm)	Grit Number	Size (µm)
P120	125.0	120	116.0
P150	100.0	180	78.0
P220	68.0	220	66.0
P240	58.5	....	....
P280	52.2	240	51.8
P320	46.2	....	....
P360	40.5	280	42,3
P400	35.0	320	34.3
P500	30.2	....	....
P600	25.8	360	27.3
P800	21.8	400	22.1
P1000	18.3	500	18.2
P1200	15.3	600	14.5
P1500	12.6	800	11.5
P2000	10.3	1000	9.5
P2500	8.4	1500	8.0
P4000	5.0	....	....

not found in the FEPA grading system

ANSI - American National Standard institute

CAMI - Coated abrasives manufacturers institute

FEPA - european federation of abrasive producers

Hal yang harus diperhatikan pada saat pengamplasan adalah pemberian air. Air berfungsi sebagai pemindah geram, memperkecil kerusakan akibat panas yang timbul yang dapat merubah struktur mikro sampel dan memperpanjang masa pemakaian kertas amplas. Penggunaan air dan langkah-langkah pengamplasan bisa dilihat pada tabel 2.15 untuk pengamplasan material lunak. Hal lain yang harus diperhatikan adalah ketika melakukan perubahan arah pengamplasan, maka arah yang baru adalah 45^0 atau 90^0 terhadap arah sebelumnya.

Tabel 2.15 Persiapan uji mikrografi material lunak dibawah 45 HRC (ASTM Handbook E18, 2002).

Surface	Lubricant	Abrasive type/size ANSI (FEPA)	time sec	force N (lbf)	Platen RPM3	Rotation
planar grinding paper/stone	Water	120-320 (p120-400) grit SiC/al ₂ O ₃	15- 45	20-30(5-8)	200- 300	00°
free grinding heavy nylon clotch	compotible lubricant	6-15 µm diamond	160- 300	20-30(5-8)	100- 150	00°
rought polishing low nap cloth	compotible lubricant	3-6 µm diamond	120- 300	20-30(5-8)	100- 150	00°
final polishing med/high nap clotch	compotible lubricant	1 µm diamond	60- 120	10-20(3-5)	100- 151	00°
synthetic suede	Water	0.04 µm diamond colloidall silica or 0.05 or 0.05 mm alumina	30- 60	20-30(5-8)	100- 152	Contra

d. *Polishing* (Pemolesan)

Setelah diampelas sampai halus, sampel harus dilakukan pemolesan. Pemolesan bertujuan untuk memperoleh permukaan sampel yang halus bebas goresan dan mengkilap seperti cermin dan menghilangkan ketidakteraturan sampel hingga orde 0.01 µm. Permukaan sampel yang akan diamati di bawah mikroskop harus benar-benar rata. Apabila permukaan sampel kasar atau bergelombang, maka pengamatan

struktur mikro akan sulit untuk dilakukan karena cahaya yang datang dari mikroskop dipantulkan secara acak oleh permukaan sampel.

Tahap pemolesan dimulai dengan pemolesan kasar terlebih dahulu kemudian dilanjutkan dengan pemolesan halus. Ada 3 metode pemolesan antara lain yaitu sebagai berikut :

1. Pemolesan elektrolit kimia

Hubungan rapat arus dan tegangan bervariasi untuk larutan elektrolit dan material yang berbeda dimana untuk tegangan, terbentuk lapisan tipis pada permukaan, dan hampir tidak ada arus yang lewat, maka terjadi proses etsa. Sedangkan pada tegangan tinggi terjadi proses pemolesan.

2. Pemolesan kimia mekanis

Merupakan kombinasi antara etsa kimia dan pemolesan mekanis yang dilakukan serentak di atas piringan halus. Partikel pemoles abrasif dicampur dengan larutan pengetsa yang umum digunakan.

3. Pemolesan elektro mekanis (*Metode Reinacher*)

Merupakan kombinasi antara pemolesan elektrolit dan mekanis pada piring pemoles. Metode ini sangat baik untuk logam mulia, tembaga, kuningan, dan perunggu.

e. Etching (Etsa)

Etsa merupakan proses penyerangan atau pengikisan batas butir secara selektif dan terkendali dengan pencelupan ke dalam larutan pengetsa baik menggunakan listrik maupun tidak ke permukaan sampel, sehingga detail struktur yang akan diamati akan terlihat dengan jelas dan tajam. Untuk beberapa material, struktur mikro baru muncul jika diberikan zat etsa. Sehingga perlu pengetahuan yang tepat untuk memilih zat etsa yang tepat.

1. Etsa kimia

Merupakan proses pengetsaan dengan menggunakan larutan kimia, lihat tabel 2.16 dimana zat etsa yang digunakan ini memiliki karakteristik tersendiri sehingga pemilihannya disesuaikan dengan sampel yang akan diamati.

2. Elektro etsa (*Etsa Elektrolitik*)

Merupakan proses etsa dengan menggunakan reaksi elektroetsa. Cara ini dilakukan dengan pengaturan tegangan dan kuat arus listrik serta waktu pengetsaan. Etsa jenis ini biasanya khusus untuk *stainless steel* karena dengan etsa kimia susah untuk mendapatkan detil strukturnya

Tabel 2.16 Jenis-jenis Etsa kimia pada uji mikrografi material (ASTM Handbook E18, 2002).

6H HCL plus 2 gl hexamethylene tetamine	immerse specimentin solution for 1 to 15 min. good for steels.cleaning action can be enhanced by light brushing or by brief (5 s) periods in an ultrasonic cleaner
3 mL HCL 4 mL 2-Butyne-, 4 diol inhibitor 50 mL water 49 mL water	use a fresh solution at room temperature. Use in an ultrasonic cleaner for about 30 s
49 mL HCL 2 mL Rodine -50 Inhibitor	wash speciment in alcohol for 2 min in ultrasonic cleaner before and after a 2 min ultrasonic cleaning period with the inhibited acid bath
6 g sodium cyanide 5 g sodium sulphite 100 mL distiled water	electrolytic rust removal solution. Use under a hood with care. Use 100-mA/cm ² current density for up to 15 min
10 g ammonium citrate 100 mL distiled water 70 mL orthophosphoric acid	use solution heated to 30°C (86F)
32 g chromic acid 130 mL water	recommended for removin oxides from aluminum alloy fracture (some sources claim that only organic solvent shoild be used)
8 Oz endox 214 powder 1000 mL cold water (add small amount of photo-flo)	use electrolytically at 250-mA/cm ² current density for 1 min with a Pt cathoda to remove oxidation products. Wash in ultrasonic cleaner with the solution for 1 min. repeat this cycle several times if necessary.use under a hood

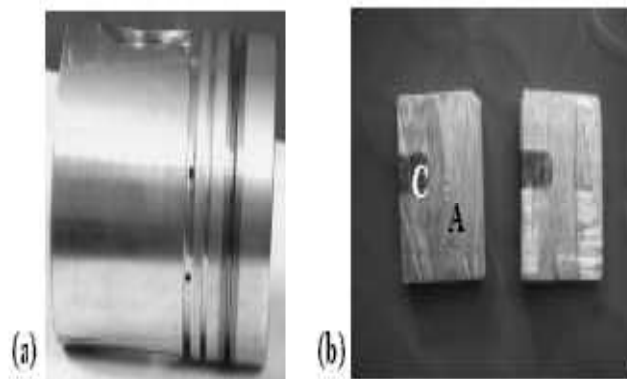
f. Pengamatan Struktur Makro dan Mikro

Pengamatan metalografi dengan mikroskop dapat dibagi dua, yaitu :

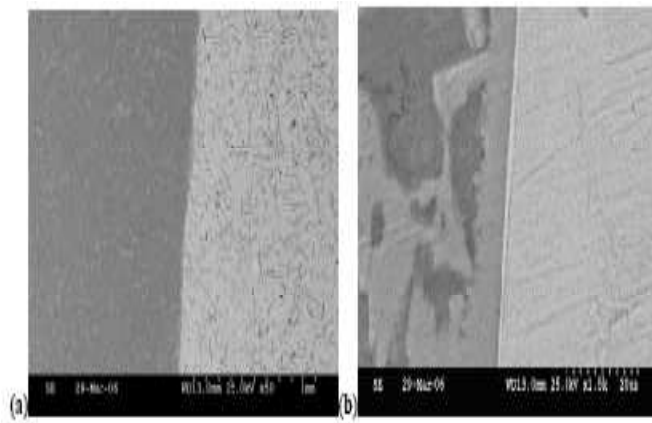
1. Metalografi makro yaitu pengamatan struktur pembesaran 10 – 100 kali
2. Metalografi mikro yaitu pengamatan struktur pembesaran di atas 100 kali

Mode perpatahan material secara umum dapat dibagi dua, yaitu perpatahan ulet yang berkarakter berserabut (*fibrous*) dan gelap (*dull*), dan perpatahan getas

dimana permukaan patahan berbutir (*granular*) dan terang. Selanjutnya pengamatan dapat dilakukan dengan *stereoscope macroscope* dan SEM. Pada gambar 2.20 menunjukkan material piston bimetal yang akan di mikrografi dan gambar 2.21 hasil struktur mikro pada area *interface* aluminium dan besi cor dengan pembesaran 1500X. Sedangkan untuk daerah hasil lasan, secara metalografi dapat ditunjukkan adanya empat bagian, yaitu: *composite zone*, *unmixed zone*, *partially melted zone*, dan *true heat affected zone*.



Gambar 2.20. (a) Piston paduan aluminium menggunakan *insert* besi cor (b) bagian hubungan paduan Al-Si dan *insert* (Uthayakumar, 2008).



Gambar 2.21 (a) pembesaran pada zona ikatan pada piston diquenching udara (X50).(b) pembesaran pada zona ikatan pada piston diquenching udara (x1500) (Uthayakumar, 2008).

g. Metode perhitungan besar butir

Ada tiga metode yang direkomendasikan ASTM, yaitu :

1. Metode Perbandingan

Foto struktur mikro bahan dengan perbesaran 100X dapat dibandingkan dengan grafik ASTM E11 dapat ditentukan besar butir. Nomor besar butir ditentukan dengan rumus :

$$N-2^{n-1} \quad (2.6)$$

Dimana N adalah jumlah butir per inch² dengan perbesaran 100X. Metode ini cocok untuk sampel dengan butir beraturan.

2. Metode *intercept*

Plastik transparan dengan grid (bergaris kotak-kotak) diletakkan di atas foto atau sampel. Kemudian dihitung semua butir yang berpotongan pada akhir garis dianggap setengah. Perhitungan dilakukan pada tiga daerah agar mewakili. Nilai diameter rata-rata ditentukan dengan membagi jumlah butir yang berpotongan dengan panjang garis. Metode ini cocok untuk butir yang tidak beraturan.

3. Metode *Planimetri*

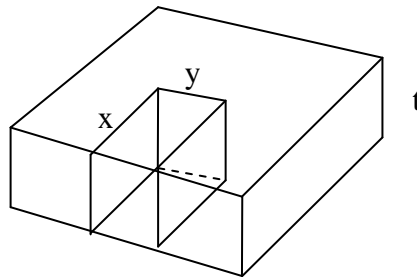
Metode ini menggunakan lingkaran yang umumnya memiliki 5000 mm² Perbesaran. Sehingga ada sedikitnya 75 butir yang berada di dalam lingkaran. Kemudian hitung jumlah total semua butir dalam lingkaran ditambah setengah dari jumlah butir yang berpotongan dengan lingkaran.

6. Kekuatan Geser (*shear strength*)

Piston bimetalik setelah machining mendapatkan bentuk yang diharapkan. Terdapat kemungkinan pemisahan aluminium dan *insert* besi cor selama machining. Hal ini disebabkan tegangan geser dari perkembangan selama machining seperti

piston bimetalik khususnya aluminium dan interface besi cor. Ikatan *interface* antara aluminium dan besi cor harus serupa agar ikatan tidak pecah atau tidak berpadu selama machining.

Menguji kekuatan interface piston dilakukan dengan *universal Testing machining* (UTM) yang sering disebut dengan *metode pushout test* (gambar 2.22) Pengujian ini digunakan untuk mengukur kekuatan ikatan *interface* fiber atau matrik komposit dengan karakteristik gesekan luncur bervariasi pada sistem penguat komposit (Begum, 2008). Rumus yang digunakan untuk menghitung nilai kekuatan geser pada piston bimetalik (τ) sebagai berikut:



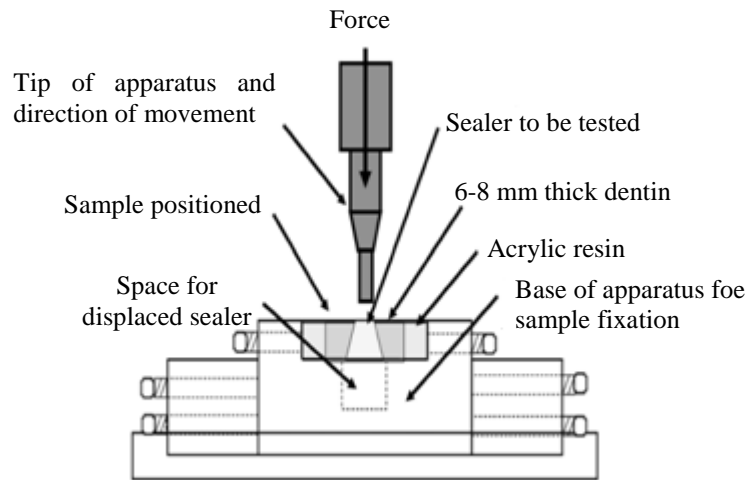
Gambar 2.22. Dimensi specimen pengujian geser

$$\tau = \frac{P}{[2xt+yt)(t-d)]} \quad (2.7)$$

Dimana

- P : Beban tekan (N)
- x : panjang sisi (mm)
- y : panjang tengah (mm)
- t : ketebalan specimen (mm)
- d : Jarak pergeseran insert (mm)

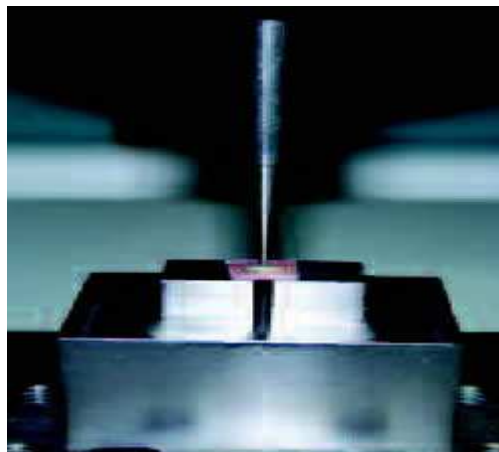
Pada gambar 2.23 memperlihatkan skematik pengujian *pushout test* untuk mengetahui kekuatan *interface* piston bimetal.



Gambar 2.23 Skematik *pushout test* (Cleonice, 2009)

Pengujian kekuatan geser (*shear strength*) pada piston bimetalik menggunakan UTM ditambah alat bantu berupa baja silinder runcing dengan diameter ujung menyesuaikan pada luas *insert* yang akan diektrusi (ditekan). Specimen yang akan diuji ditempatkan pada dudukan dari baja yang tengahnya dibuat canal untuk tempat keluarnya *insert* pada pengikatnya yang ditunjukkan pada gambar 2.24.

Untuk beban penekanan menggunakan satuan N atau KN, kecepatan *Crosshead* mm/menit. Besarnya beban *adhesif interface* pada piston bimetalik dapat diketahui nilainya dari display UTM pada saat ikatan *insert* lepas dari dudukan dengan satuan kekuatan N.



Gambar 2.24. Pengujian material piston bimetal menggunakan batang baja kerucut pada *pushout test* (Begum, 2008).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode Penelitian adalah cara yang dipakai dalam suatu kegiatan penelitian, sehingga mendapatkan hasil yang dapat dipertanggung jawabkan secara akademis dan ilmiah. Adapun beberapa hal yang disiapkan adalah sebagai berikut:

3.1 Material penelitian

Pada penelitian ini material yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut:

3.1.1 Material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang

Pertama yang harus dicari adalah data yang relevan dengan tuntutan piston pada mesin Daihatsu Hi-Jet 1000, Pada studi karakterisasi material yang digunakan adalah piston asli buatan Jepang pada Gambar 3.1. Dipilihnya piston original buatan Jepang juga berfungsi untuk keperluan identifikasi geometri, pengembangan desain piston dengan penambahan *insert* pada alur pertama dan cetakan piston Daihatsu Hi-Jet 1000.



Gambar 3.1 Piston Daihatsu Hi-Jet 1000 buatan Jepang

3.1.2 Limbah piston motor bensin.

Supaya tidak terjadi perbedaan komposisi dan sifat mekanik limbah piston bekas yang signifikan maka, limbah piston yang didaur ulang adalah limbah piston motor bensin, ditunjukkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Limbah piston bekas motor bensin

3.1.3 ADC 12

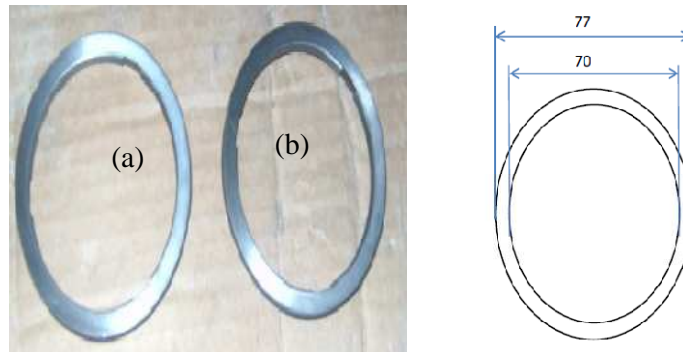
Penambahan ADC 12 atau paduan Al-Si untuk bentuk dan dimensinya pada gambar 3.3 digunakan untuk meningkatkan kualitas material limbah piston bekas yang akan digunakan sebagai bahan material piston. ADC 12 diproduksi *MME Resources Limite, Cina*.



Gambar 3.3 Material ADC 12

3.1.4 Material *insert*

Material *insert* yang digunakan pada alur pertama ring piston ada dua material yaitu besi cor dan ST 60 yang berbentuk ring ditunjukkan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4 Material *insert* a) besi cor b) ST 60

3.2 Peralatan Penelitian

3.2.1 Cetakan untuk prototipe *insert* piston

Material cetakan piston terbuat baja carbon rendah yang digunakan untuk membuat prototipe piston menggunakan pengecoran gravitasi pada waktu penuangan material diperlihatkan pada gambar 3.5. Logam cetakan ini merupakan pengembangan desain prototipe alur ring piston dan *insert*.



Gambar 3.5. Cetakan alur ring piston

3.2.2 Cetakan piston

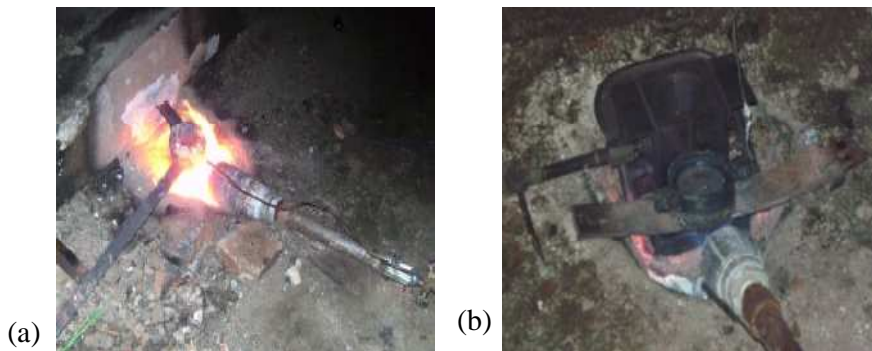
Cetakan piston juga sama terbuat dari baja karbon rendah dengan bentuk yang lebih kompleks. Menggunakan *raiser* sebagai penekan yang volumenya lebih besar dari volume piston. Cetakan menggunakan komponen yang terpisah-pisah untuk mempermudah pembongkaran cetakan dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6. Cetakan piston

3.2.3 Dapur peleburan.

Dapur peleburan limbah piston bekas merupakan hasil desain dan kreasi sendiri yang dilengkapi barner dengan bahan bakar gas LPG. Pada penelitian ini digunakan dua berner, yang pertama untuk peleburan material piston dan yang kedua untuk pemanasan awal (*preheating*) pada cetakan dan *insert*. Bentuk dan posisi dari barner diperlihatkan pada gambar 3.7.



Gambar 3.7 Proses peleburan material. a) dapur peleburan limbah piston bekas. b) dapur pemanasan awal cetakan dan *insert*

3.2.4 Termometer digital

Termometer digital pada gambar 3.8 digunakan untuk mengukur temperatur ruangan, temperatur pemanasan cetakan dan temperatur penuangan.



Gambar 3.8 Termometer digital

3.2.5 Mikroskop

Untuk melihat struktur mikro pada material piston dan *interface* antara paduan aluminium dan *insert* dapat dilihat dengan alat Mikroskop Olympus BX 41M pada gambar 3.9



Gambar 3.9 Mikroskop Olympus BX 41M

3.2.6 *Vickershardness tester*

Vickershardness tester adalah pengujian kekerasan sesuatu bahan dengan menggunakan intan atau bahan keras lain yang mengacu pada lekukan statis yang dibuat dengan beban tidak lebih dari 1 kgf. Disini digunakan

untuk mengetahui kekerasan dekat *interface* material piston dengan *insert*. *Vickershardness tester* yang digunakan yaitu model HVS-1000S pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 *Vickershardness tester model HVS-1000S*

3.2.7 *Universal testing Machine (UTM)*

Digunakan untuk mengukur kekuatan ikatan *interface* antara aluminium dan *insert* dengan karakteristik gesekan luncur bervariasi pada sistem *insert*. Pengujian ini juga sering disebut metode *Pushout test* untuk uji geser (*shear strength*) dengan menggunakan alat *UTM model WE-100B* pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 *UTM model WE-100B*

3.2.8 Mesin grinding

Fungsi mesin grinding adalah untuk menghaluskan permukaan yang kasar pada material benda uji, ini harus diratakan agar pengamatan struktur mikro mudah untuk dilakukan. Pada gambar 3.12 menunjukkan mesin grinding *double disk*



Gambar 3.12 Mesin grinding *double disk*

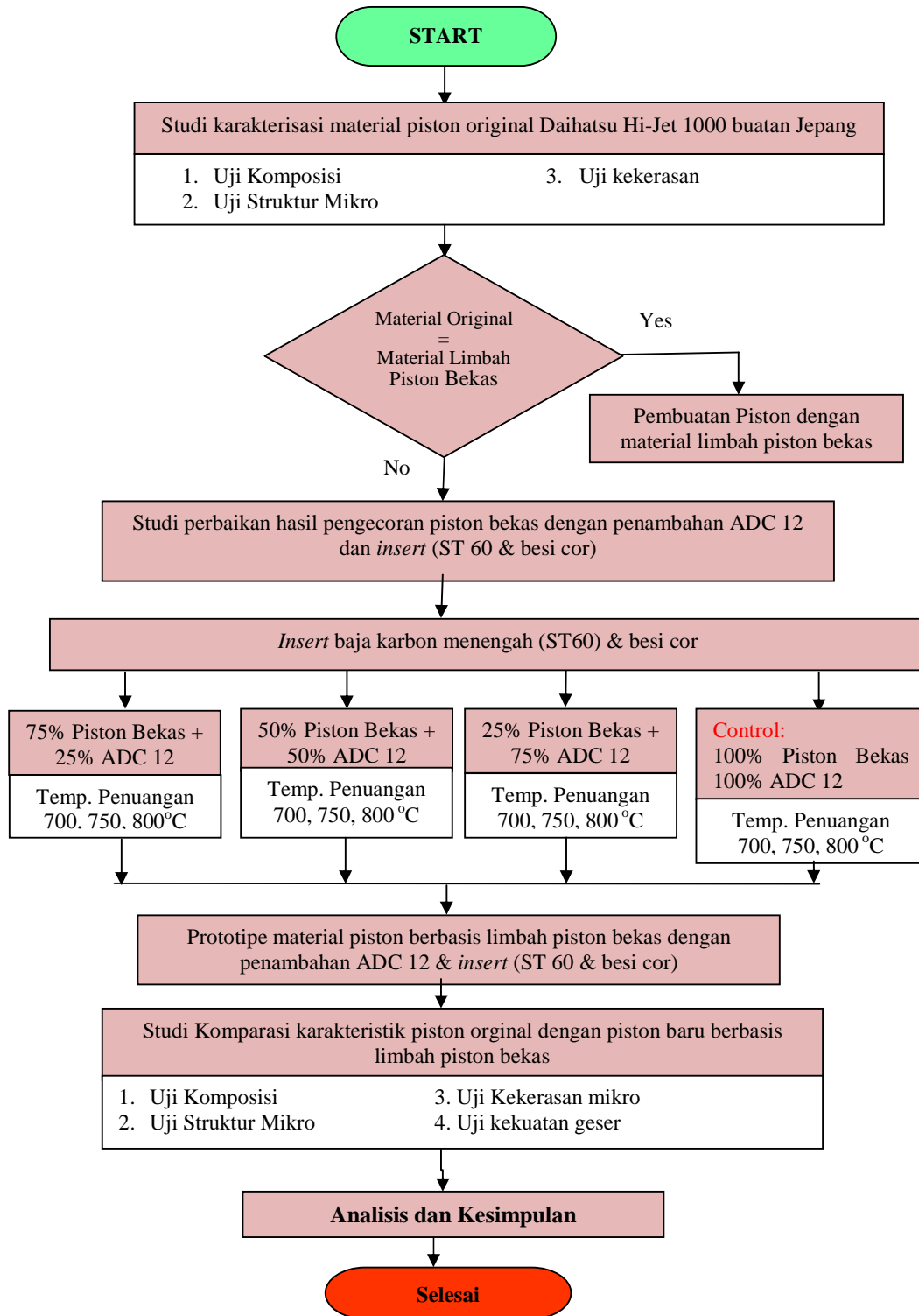
3.2.9 Mesin CNC Turning

Mesin yang dikendalikan dengan program NC yang dikontrol oleh komputer. Mesin ini digunakan untuk pembentukan specimen uji dan piston dengan proses pembubutan (*Turning*) yang diperlihatkan pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Mesin CNC Turning *Master TMC 320*

3.3 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.14 Diagram Alir Penelitian

3.3.1 Persiapan Bahan

Proses persiapan material yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Piston bekas

Material ini digunakan sebagai bahan dasar penelitian. Piston bekas yang digunakan yaitu piston bekas motor bensin yang sudah dibersihkan dari bahan kimia maupun kerak-kerak yang menempel. Piston dipotong kecil-kecil dengan berat ± 50 gram bertujuan untuk memudahkan membuat benda uji dan mengontrol volume cairan logam.

b. Material ADC 12

Material ini sebagai bahan campuran piston bekas yang berfungsi untuk meningkatkan sifat mekanik dari piston. Batangan ADC 12 juga dipotong kecil-kecil dengan ukuran sama untuk mempermudah dalam penimbangan dan memasukan kedalam kowi peleburan.

c. Pembuatan *insert* untuk alur ring pertama piston

Insert berfungsi untuk alur pertama pada ring piston. *Insert* berbentuk ring dengan ukuran diameter luar 77 mm dan diameter dalam 70 mm yang terbuat dari ST60 dan besi cor.

d. Cetakan piston

Cetakan digunakan untuk membuat protipe piston dengan proses pengecoran gravitasi. Cetakan didesain dengan bentuk seperti *parcel* untuk mempermudah dalam pembongkaran cetakan

e. Pembuatan penekan dan landasan uji geser

Pembuatan alat ini sebagai alat bantu untuk menekan specimen uji dan landasan pada proses *pushout test*. Material ini terbuat dari baja karbon rendah dengan proses machining

3.3.2. Proses pengecoran

Awal pengecoran diperlukan persiapan material yang terdiri dari piston bekas dan batangan ADC 12. Berat material yang dilebur 400 gram dengan komposisi perbandingan dapat dilihat pada Tabel 3.1. Proses peleburan material diperlukan dua dapur pembakaran, yang pertama untuk meleburkan material

dalam kowi dan yang kedua untuk pemanasan awal (*preheating*) pada cetakan dan *insert*.

Berikutnya proses pembekuan (*solidification*) material dalam cetakan. Setelah membeku bongkar cetakan dengan alat bantu yaitu tang kombinasi dan kunci 14. Ambil hasil pengecoran dari cetakan kemudian pasang kembali cetakan untuk pengecoran berikutnya.

3.3.3 Pengujian karakteristik piston

a) Proses pengujian komposisi

Uji komposisi dilakukan untuk mengetahui komposisi kimia yang terkandung dalam bahan spesimen. Proses pengujian komposisi adalah untuk mengetahui seberapa besar prosentase dari tiap unsur pembentuk bahan spesimen misalnya Si, Fe, Cu, Mn, Al dan unsur lain.

Spesimen dipotong tebal minimal 15 mm untuk dibersihkan permukaan dan dilakukan proses pengamplasan. Untuk pengujian dilakukan di laboratorium POLMAN Ceper Klaten.

b) Proses kekerasan material

Pengujian kekerasan dilakukan menggunakan *Vickershardness tester model HVS-1000S* dengan pengambilan sampel dilakukan 5 kali penekanan identer. Dengan adanya replika 3 kali maka jumlah setiap specimen 90 buah. Spesimen yang akan diuji dipersiapkan terlebih dahulu, specimen uji diampelas dengan nomor amplas 1500, kondisikan rata dan tegak lurus terhadap bidang uji

c) Proses struktur mikro

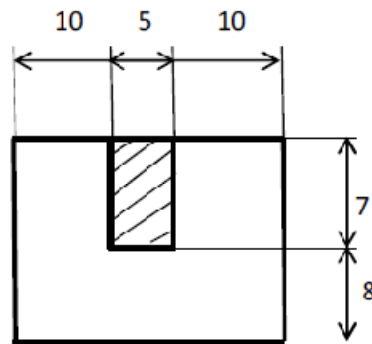
Langkah sebelum melakukan pengujian struktur mikro adalah pemolesan. Pemolesan dilakukan pada ikatan material antara aluminium dan *insert* untuk mengetahui *interface* dan difusi dua material. Pemolesan dilakukan dengan menggunakan amplas mulai dari nomor 200 sampai nomor 2000 dilanjutkan pasta *autosol* agar lebih halus dan mengkilap.

Spesimen diletakkan pada landasan mikroskopik, mesin diaktifkan dan pasang kamera pada mikroskop. Kamera yang dipakai *Merk Olympus BX 41M*. Pemotretan dilakukan 3 kali pengambilan gambar. Dengan posisi

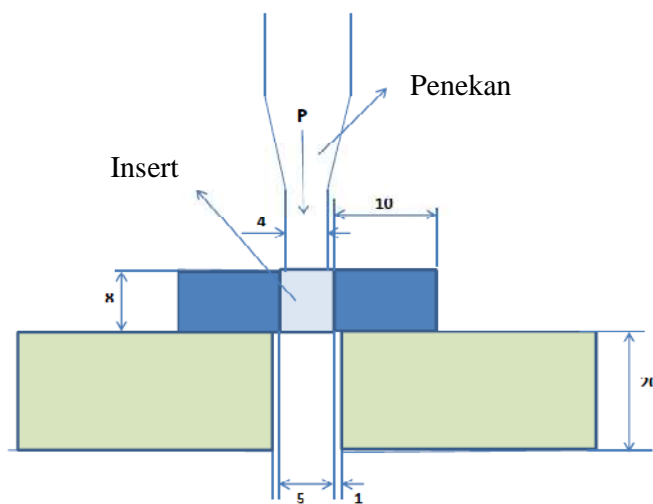
pemotretan yang berbeda-beda tempat. Sehingga pometretan dapat mewakili dari seluruh permukaan *interface* material bimetal.

d) Proses uji geser

Proses uji geser menggunakan *Universal Testing macninemodel WE-100B* dengan alat bantu batang penekan dan landasan specimen uji. Pengujian dilakukan 5 kali setiap 1 replika. Beban penekanan dapat dilihat pada display alat ukur dengan kecepatan penekanan 2 mm/mnt dan skala pembebanan 20 N. Pada gambar 3.15 menunjukkan dimensi specimen uji geser. Sedangkan gambar 3.16 memperlihatkan skematik pengujian *pushout test*.



Gambar 3.15 Dimensi specimen uji geser



Gambar 3.16 Skematik *pushout test*

3.3.4 Proses Permesinan

Piston hasil pengecoran perlu dilakukan permesinan untuk mendapatkan piston sesuai dimensi dan ukuran yang ditentukan. Proses permesinan dilakukan dilaboratorium CNC, pendidikan teknik mesin, UNS solo menggunakan mesin *CNC turning*. Piston yang sudah dilakukan proses permesinan dilanjutkan dengan proses grinding dan poles dengan harapan menjadikan permukaan piston lebih halus dan mengkilat.

Untuk membuat specimen uji menggunakan mesin bubut konvensional yang digunakan untuk meratakan permukaan piston yang akan diuji. Specimen uji dipotong sesuai dengan standar pengujian yang ditentukan oleh *American Society for Testing and Material (ASTM)*

3.4. Variabel Penelitian

3.4.1. Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan dalam penelitian ini merupakan parameter pengecoran yang didasarkan pada komposisi perbandingan campuran, suhu penuangan dan material *insert* yang digunakan.

Adapun variabel bebas yang digunakan ada 3 yaitu :

1) Komposisi perbandingan campuran material

Komposisi material pada penelitian ini terdiri dari 5 campuran. Material dasar pengecoran yaitu piston bekas mesin bensin dan ADC 12 produksi *MME Resources Limited, Cina*. Variabel bebas komposisi material yaitu :

- a. Komposisi 25% piston bekas + 75% ADC 12
- b. Komposisi 50% piston bekas + 50% ADC 12
- c. Komposisi 75% piston bekas + 75% ADC 12
- d. Piston bekas 100% dan ADC 12. 100% sebagai kontrol

2) Material *insert*

Berfungsi sebagai alur pertama ring piston. Material *insert* terbungkus aluminium sehingga kekuatan ikatan lebih optimal. Material *insert* terdiri dari dua variabel yaitu ST 60 dan besi cor yang berbentuk ring.

3). Suhu Penuangan

Temperatur atau suhu penuangan material kedalam cetakan pada penelitian ini menggunakan tiga variabel yaitu 700, 750 dan 800°C. Dimana aluminium mencair pada suhu 650°C.

3.4.2. Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang dipengaruhi atau menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Rochim, 2001). Dengan kata lain ada atau tidaknya variabel terikat tergantung adanya atau tidaknya variabel bebas. Dalam penelitian ini variabel terikatnya adalah:

- 1) Komposisi kimia
- 2) Struktur mikro
- 3) Kekerasan mikro
- 4) Kekuatan geser

3.5 Analisis 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 dengan penambahan *insert* pada alur pertama ring piston
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 menggunakan material piston bekas dengan penambahan ADC 12 dan *insert* besi cor dan ST 60 dengan variasi temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C dapat disajikan seperti pada Tabel 3.1 berikut ini:

Tabel 3.1 Diskripsi pengambilan data

<i>Insert dan suhu penguangan</i>	<i>Insert</i>					
	ST 60			Besi Cor		
	700°C	750°C	800°C	700°C	750°C	800°C
Komposisi material						
25% piston bekas + 75 % ADC 12	Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser			Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser		
50% piston bekas + 50 % ADC 12	Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser			Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser		
75% piston bekas + 25 % ADC 12	Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser			Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser		
Control	Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser			Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser		
Piston Bekas	Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser			Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser		
ADC 12%	Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser			Pengujian komposisi Pengujian struktur mikro Pengujian kekerasan Pengujian geser		

d. Tahap IV: Proses permesinan piston

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

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

Pada tahap ini dilakukan studi perbandingan karakteristik piston original dengan piston baru berbasis limbah piston bekas ditambah *insert* alur ring piston berdasarkan pada parameter-parameter seperti komposisi paduan, struktur mikro, kekerasan mikro dan kekuatan geser.

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dan pembahasan yang akan diuraikan meliputi : karakterisasi piston original Daiatsu Hi-Jet 1000, identifikasi kualitas hasil peleburan piston bekas, dan studi perbaikan hasil pengecoran limbah piston dengan penambahan ADC 12 disertai *insert* ST 60 dan besi cor.

4.1 Karakterisasi piston original Daihatsu Hi-Jet 1000

Sebelum melakukan studi kualitas pengecoran ulang limbah piston bekas yang direncanakan sebagai material piston baru, tahap awal yang harus dilakukan adalah melakukan studi karakterisasi material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000. Tujuan dilakukan studi karakterisasi material piston original Daihatsu adalah memperoleh data-data mengenai komposisi, struktur mikro dan kekerasan yang nantinya digunakan sebagai referensi dalam pembuatan piston baru berbasis material limbah piston bekas. Berikut ini hasil studi karakterisasi material piston original Daihatsu yang telah dilakukan.

4.1.1 Studi komposisi material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000

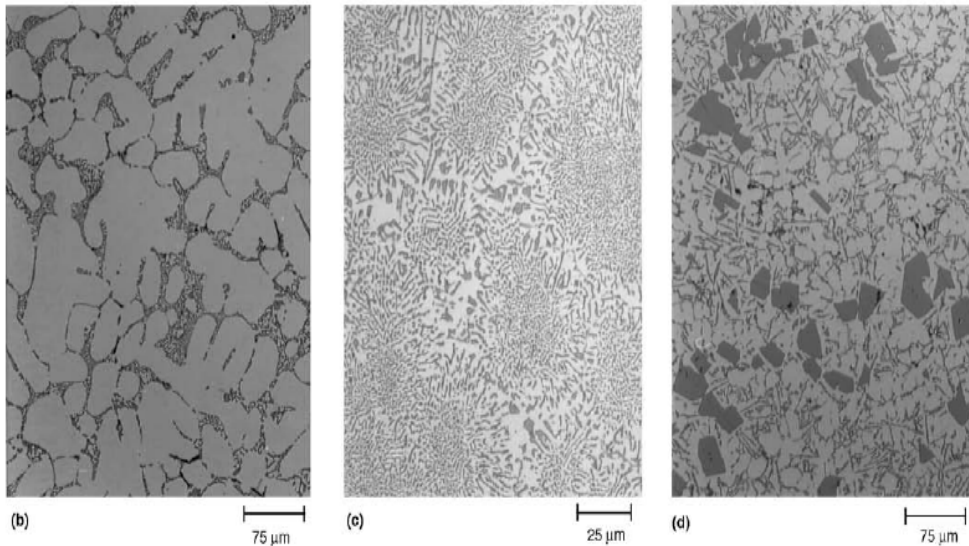
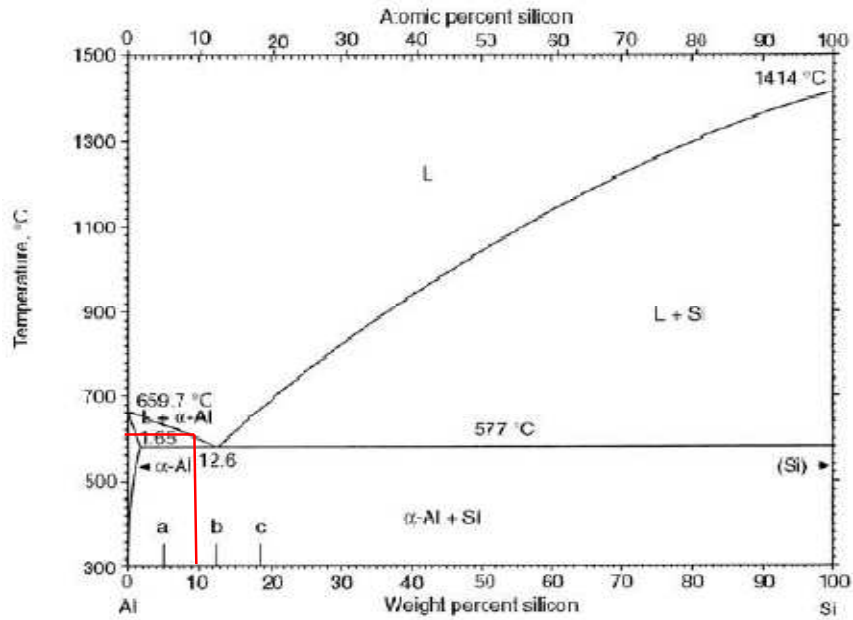
Hasil uji komposisi menunjukkan bahwa material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 mempunyai unsur paduan utama 84,19% Al dan 10,7% Si. Adapun hasil lengkap pengujian komposisi material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 disajikan pada Tabel 4.1 dan Lampiran.

Tabel 4.1 Hasil uji komposisi material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 dan AA.333.0

Paduan	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Sn	Ti
Piston Daihatsu Hijet 1000	84.19	10.7	0.465	0.981	0.041	1.15	0.032	2.29	0.016	0.078
AA. 333.0	84.0-86.0	8.0-10.0	1.0	3.0-4.0	0.50	0.05-0.50	-	0.50	-	0.25

Sumber : Pengujian di POLMAN Cepur Klaten

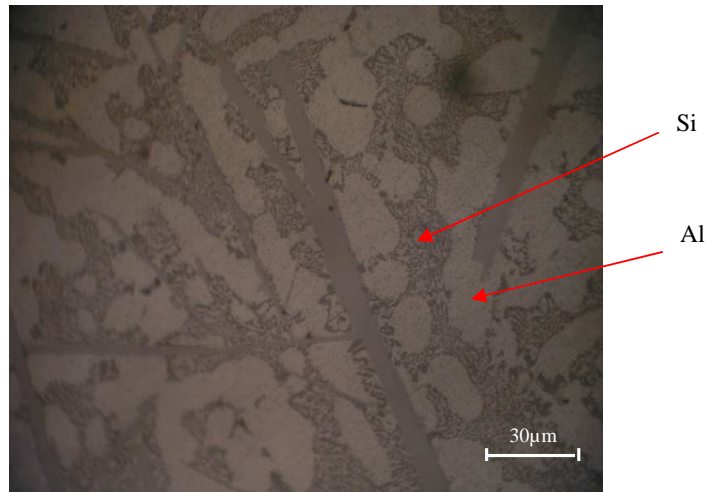
Berdasarkan pada komposisi paduan, material piston original Daihatsu dapat dikelompokkan kedalam paduan aluminium AA. 333.0 pada tabel 4.1 (ASM Volume 15: 1992). Berdasarkan diagram fasa material piston original Daihatsu terletak didaerah *hypoeutectic* (Gambar 4.1).



Gambar 4.1 Diagram fasa paduan Al-Si dan struktur mikro

4.1.2 Studi struktur mikro material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000

Hasil pengujian struktur mikro pada material piston Daihatsu Hi-Jet 1000 dapat diamati seperti pada gambar 4.2 berikut ini.



Gambar 4.2 Struktur mikro material piston Daihatsu Hi-Jet 1000 dengan perbesaran mikroskop 1000X.

Dari hasil uji struktur mikro material piston Daihatsu Hi-Jet 1000 dapat diamati bahwa unsur Si tersebar merata diantara Al. Bentuk struktur mikro ditunjukkan pada gambar 4.2 mempunyai kemiripan dengan struktur mikro daerah *hypoeutectik* gambar 4.1. Ini nanti yang akan menjadi acuan dalam mendaur ulang material piston bekas menjadi material piston baru.

4.1.3 Studi kekerasan material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000

Pengujian kekerasan pada posisi *top land* piston yang dipotong dilakukan lima kali penekanan identer dengan posisi penekanan merata pada spesimen yang bisa dilihat pada gambar 4.3. Hasil pengujian kekerasan material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 didapatkan hasil seperti pada tabel 4.2. Pengujian menggunakan *Rockwell* kelas B dengan identer ball 1/16" beban 100 kg selama 30 detik. Kekerasan material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000 didapatkan nilai kekerasan sebesar 76 HRB dan pada paduan didaerah hipoeutektik memiliki kekerasan 105 HB (67 HRB) dimana terjadi perbedaan kekerasan yang signifikan

(ASM handbook vol 15, 1998) ini dimungkinkan paduan didaerah *hypoeutectik* belum mengalami perlakuan panas.



Gambar 4.3 Posisi pengambilan spesimen dan letak penekanan identer.

Tabel 4.2 Nilai pengujian kekerasan *Rockwell B* material piston original Daihatsu Hi-Jet 1000

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

$$HRB = 76$$

$$\begin{aligned} \text{Ralat Nisbi} &= \left(\frac{\delta \overline{HR}}{\overline{HR}} \right) \times 100\% \\ &= \left(\frac{0,475}{76} \right) \times 100\% = 0,625 \\ \text{Keseksamaan} &= \left(1 - \frac{\delta \overline{HR}}{\overline{HR}} \right) \times 100\% \\ &= \left(1 - \frac{0,475}{76} \right) \times 100\% \\ &= 99,3,75\% \end{aligned}$$

4.2 Identifikasi Kualitas Hasil Peleburan Piston Bekas

Pada tahapan ini, untuk mengetahui kualitas material hasil peleburan limbah piston bekas, dilakukan 2x peleburan. Limbah piston bekas yang digunakan adalah piston bekas kendaraan bensin dari bermacam – macam merek. Setelah dilakukan pengecoran terhadap limbah material piston, kemudian dilakukan pengujian – pengujian untuk mendapatkan data tentang kualitas hasil peleburan limbah piston. Adapun pengujian yang dilakukan meliputi pengujian komposisi, struktur mikro dan kekerasan.

4.2.1 Komposisi hasil pengecoran material limbah piston bekas

Tabel 4.3 Hasil uji komposisi material limbah piston bekas (Lampiran)

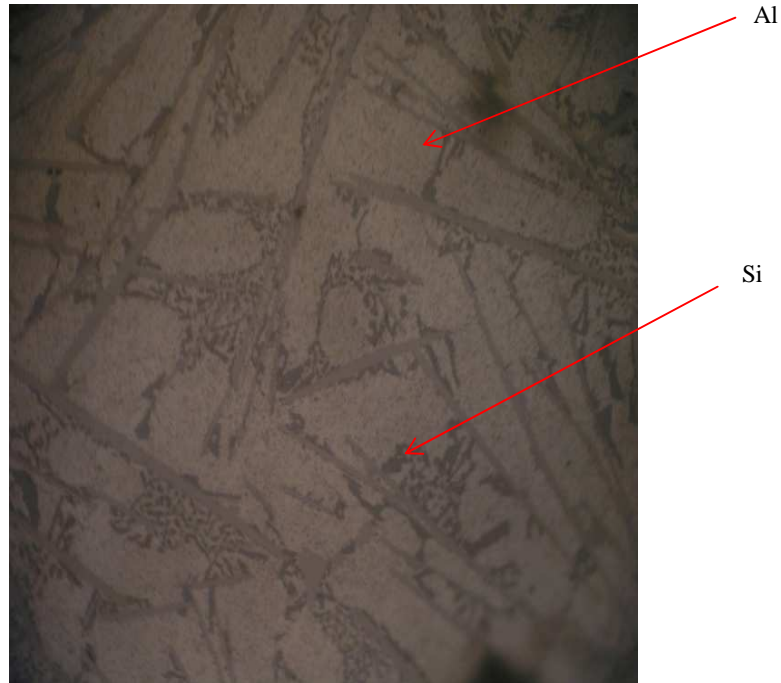
Paduan	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
Pengecoran I	87,82	7,76	0,775	1,40	0,368	0,353	0,036	0,005	1,23
Pengecoran II	86,27	7,98	1,50	1,40	0,421	0,954	0,0784	0,694	0,922

Sumber : Pengujian di POLMAN Ceper Klaten

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

4.2.2 Struktur mikro hasil pengecoran material limbah piston bekas

Hasil pengujian struktur mikro pada hasil pengecoran material limbah piston bekas dapat diamati seperti pada gambar 4.4 berikut ini:



Gambar 4.4 Struktur mikro hasil pengecoran material limbah piston bekas dengan perbesaran mikroskop 1000X.

Pada gambar 4.4 terlihat bahwa hasil struktur mikro hasil pengecoran limbah piston unsure Si tersebar tidak merata dan didominasi oleh Al. Hasil struktur mikro ini sekaligus menjawab mengapa pada uji komposisi unsur Si jumlah komposisinya kurang dari 8%. Hasil ini juga memperkuat, jika hasil pengecoran limbah piston tidak bisa secara langsung digunakan sebagai material piston baru.

4.2.3 Kekerasan hasil pengecoran material limbah piston bekas

Hasil pengujian kekerasan pengecoran material limbah piston bekas pada tabel 4.4 sebagai berikut ini:

Tabel 4.4 Nilai Pengujian Kekerasan *Rockwell B* material limbah piston bekas

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

➤ Pengecoran I

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

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

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

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

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

$$\text{Keseksamaan} = \left(1 - \frac{\delta \overline{HR}}{\overline{HR}} \right) \times 100\%$$

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

$$= 98,47\%$$

➤ **Pengecoran II**

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

$$HRB = 49,9 \pm 1,63$$

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

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

Dari hasil pengecoran limbah piston bekas didapatkan bahwa kekerasan pada pengecoran I 50,4 HRB dan pengecoran II 49,9 HRB. Harga kekerasan ini masih lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil kekerasan material piston original Daihatsu yaitu 76 HRB. Kemungkinan besar perbedaan ini disebabkan piston asli muncul precipitasi pada permukaan material dan perlu pembuktian lagi memakai proses anil.

Rendahnya kekerasan hasil pengecoran limbah piston bekas ini mendukung hasil pengujian komposisi dan struktur mikro. Dari struktur mikro terlihat bahwa persebaran Si tidak merata dan didominasi oleh unsur Al, hal inilah yang menyebabkan mengapa kekerasan pengecoran limbah piston lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil kekerasan material piston original Daihatsu.

Hasil identifikasi pengecoran material limbah piston bekas dapat disimpulkan bahwa hasil material piston bekas tidak dapat digunakan secara langsung sebagai material piston tanpa adanya upaya memperbaiki komposisi, struktur mikro dan sifat mekanis.

4.3 Studi perbaikan hasil pengecoran limbah piston dengan penambahan ADC 12 disertai *insert* ST 60 dan besi cor

Pada penelitian ini usaha yang dilakukan untuk memperbaiki kualitas hasil pengecoran limbah piston agar bisa dimanfaatkan menjadi material piston adalah dengan penambahan ADC 12. Sedangkan untuk memperbaiki keausan yang sering timbul pada alur pertama ring piston dilakukan penambahan *insert* material besi cor dan ST 60.

Proses pengecoran untuk membuat prototipe material piston berbasis limbah material piston bekas dengan penambahan ADC 12 disertai penambahan *insert* besi cor dan ST 60 terlihat pada gambar 4.5 berikut ini.



(a) *Insert* besi cor dan ST 60



(b) pemanasan cetakan



(c) pengecoran



(d) pelepasan hasil coran



(e) hasil coran



(f) proses pembuatan spesimen

Gambar 4.5 Pembuatan prototipe material piston berbasis limbah material piston bekas dengan penambahan ADC12 disertai penambahan *insert* besi cor dan ST60

Setelah semua spesimen penelitian siap maka, tahap selanjutnya adalah pengujian terhadap hasil pengecoran, pengujian yang dilakukan meliputi: pengujian komposisi, pengujian kekerasan, pengujian struktur mikro dan pengujian geser.

4.3.1 Pengujian Komposisi

4.3.1.1 Hasil pengujian komposisi

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui komposisi kimia pada spesimen hasil pengecoran. Pada penelitian ini terdiri dua kelompok spesimen kontrol dan tiga kelompok spesimen penelitian. Untuk mengetahui komposisi kimia dari beberapa spesimen dapat dilihat pada tabel 4.5 dan untuk *insert* besi cor dan baja karbon menengah ST 60 dapat dilihat pada tabel 4.6 dan 4.7.

Tabel 4.5 Komposisi paduan eksperimen pembuatan piston

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

Tabel 4.6 Komposisi *insert* besi cor

Paduan	Fe	C	Si	Mg	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	W
Besi Cor	93,65	3,37	1,89	0,009	0,043	0,0039	0,069	0,012	0,047	0,046	0,083

Tabel 4.7 Komposisi *insert* ST 60

Paduan	Fe	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
ST 60	98,1	0,458	0,251	0,684	0,0362	0,0231	0,0120	0,337	0,0082

4.3.1.2 Pembahasan pengujian komposisi

Berdasarkan hasil pengujian komposisi pada kelompok kontrol dapat disimpulkan bahwa kelompok kontrol I (100% piston bekas) memiliki komposisi paduan Al-Si dibawah spesifikasi yang dimiliki paduan Al-Si untuk standart material piston yaitu AA. 333.0 (tabel 4.1).

Pada kontrol II (100 % ADC 12) yang dicor ulang memiliki komposisi yang berbeda dari komposisi Daihatsu Hijet 1000. Untuk komposisi ADC 12 pada spesifikasi pabrik ditunjukkan pada tabel 4.8 sebagai berikut.

Tabel 4.8 Komposisi ADC 12 (*MM Resources limited, Cina*)

Paduan	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn
ADC 12	84,7	10,7	0,83	2,06	0,230	0,246	0,03	0,05	0,05

Hasil pengujian komposisi pada piston bekas ditambah ADC 12 yang dicor ulang ditunjukkan pada tabel 4.5 berdasarkan pengklasifikasian menurut *Aluminum Assosiation* masuk paduan AA.333.0 dan memiliki UTS 234 MPa, *yield strength* 131 MPa, elongation EL 2% dan kekerasan 90 HRB. Paduan ini memiliki kemampuan untuk menahan korosi, *abrasive*, koefisien pemuaian rendah dan mempunyai struktur yang baik. AA 333.0 merupakan paduan yang digunakan untuk material piston.

Penambahan ADC 12 memiliki pengaruh terhadap persentase Si, Fe, Cu, Mn, Mg dan Ni. pada hasil pengecoran limbah material piston menjadi material

piston baru. Dimana pada penambahan 25% ADC 12 memiliki persentase Si yang paling kecil yaitu rata-rata 7,93 % Si, 1,68% Fe dan 1,35% Cu. Penambahan 75% ADC 12 memiliki persentase Si yang paling besar yaitu rata-rata 8,70 % Si, 0,73% Fe dan 0,99% Cu. Penambahan 50% ADC 12 mempunyai perbedaan yang tipis sekali dibandingkan dengan penambahan 75 % ADC 12 yaitu 8,61 % Si, 0,9% Fe dan 1,19% Cu (selisih 0,09 % Si).

Hasil pengujian komposisi menunjukkan bahwa baja karbon menengah ST 60 dalam standart SAE termasuk jenis 1040 yang memiliki titik cair 1550°C dan komposisi 0,4-0,5 wt% C, 0,7 wt% Mg, 0,25 wt% S, memiliki kekuatan tarik (*tensile strength*) 60 Kg/mm² dan keuletan (*ductility*) 20%EL. (Garg, 1976).

Hasil pengujian komposisi *insert* besi cor memiliki komposisi paduan 3,37 wt% C dan 1,89 wt% Si termasuk kelas SAE J434. Material ini memiliki titik lebur 1150 – 1300°C. Besi cor jenis ini disebut juga besi cor kelabu karena unsur C masuk 3,20 - 4.10 wt% dan unsur Si antara 1.80-3,00 wt%, Mn antara 0.10-1,00 wt% , P antara 0,015-0,10 wt% yang memiliki kekuatan tarik 414 MPa, kekerasan 170 HB dan *elongation* 18%EL (ASM Handbook Vol.8, 1998).

Unsur komposisi kimia setiap spesimen mempengaruhi sifat mekanik dan karakteristiknya, sifat mekanik suatu paduan dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti: komposisi kimia, perlakuan panas (*heat treatment*), proses pengecoran dan proses pengerjaan, Jadi dengan merubah komposisi kimia sampai batas tertentu, maka sifat mekanik akan berubah sesuai dengan yang diinginkan (Suhariyanto, 2002).

4.3.2 Pengujian struktur mikro

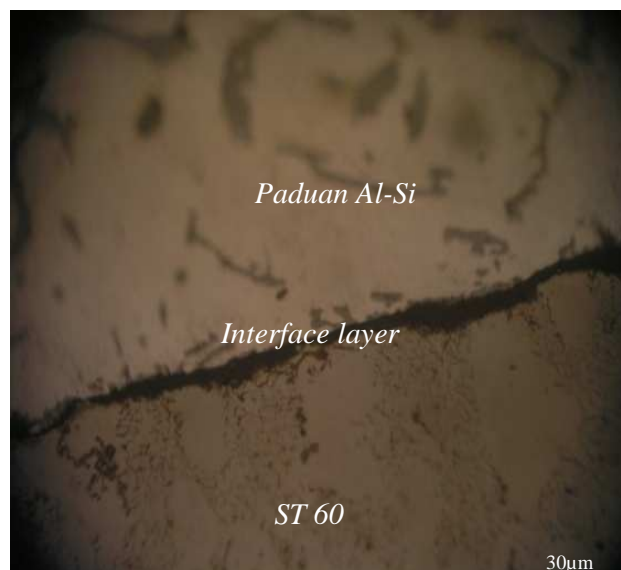
Pengujian struktur mikro pada penelitian ini bertujuan untuk melihat morfologi dan karakteristik dari hasil pengecoran limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 disertai *insert* ST 60 dan besi cor. Pengujian struktur mikro juga bertujuan untuk mengetahui daerah ikatan antara material *insert* (ST 60 dan basic cor) dengan paduan aluminium. Spesimen yang digunakan dalam pengujian struktur mikro terlihat seperti pada gambar 4.6 dibawah ini:



Gambar 4.6 Spesimen uji struktur mikro

4.3.2.1 Hasil struktur mikro spesimen dengan *insert* ST 60 pada temperatur penguangan 700, 750 dan 800°C

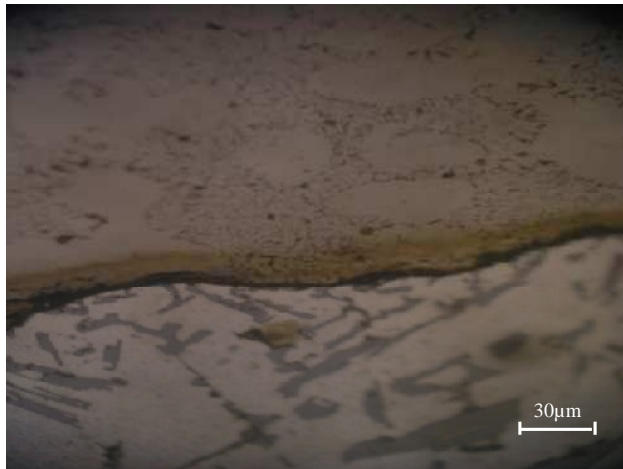
Hasil pengamatan struktur mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* ST 60 pada temperatur penguangan 700°C terlihat pada gambar 4.7 berikut ini.



a. 75% PB + 25% ADC12



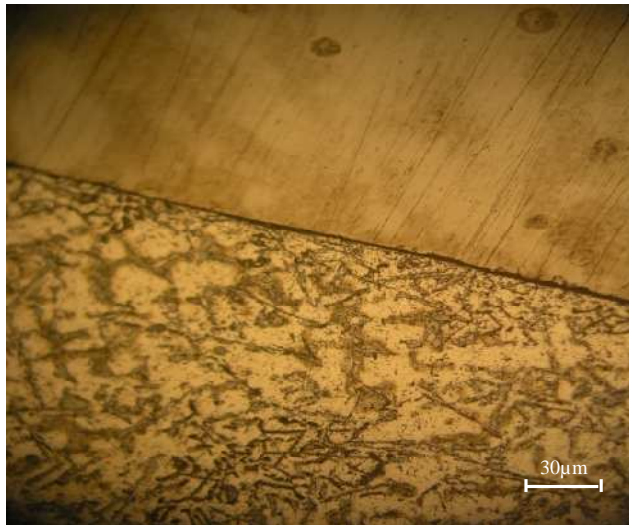
b. 50% PB + 50% ADC12



c. 25% PB + 75% ADC12



d. 100 % piston bekas



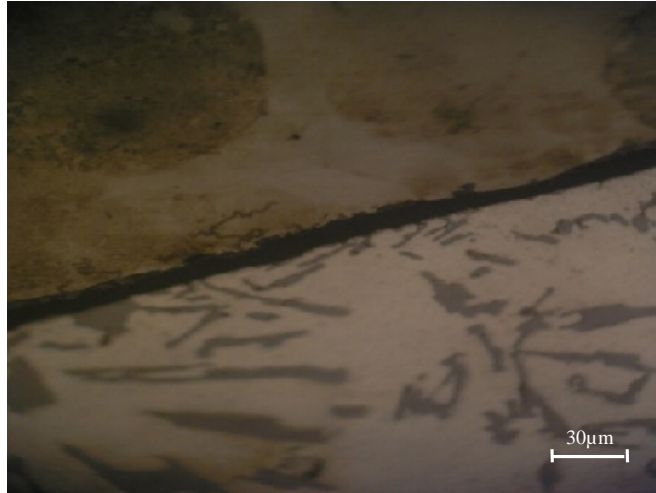
d. 100 ADC 12

Gambar 4.7 Hasil pengamatan stuktur mikro hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* ST 60 pada temperatur penuangan 700°C

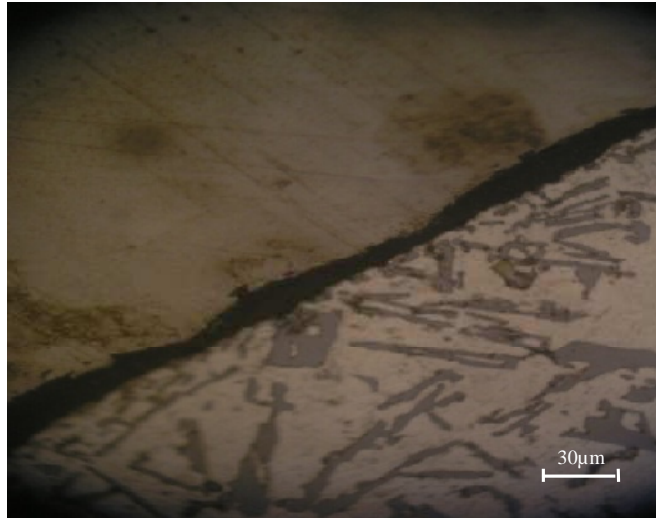
Pengamatan stuktur mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* ST 60 pada temperatur penuangan 750°C terlihat pada gambar 4.8 berikut ini.



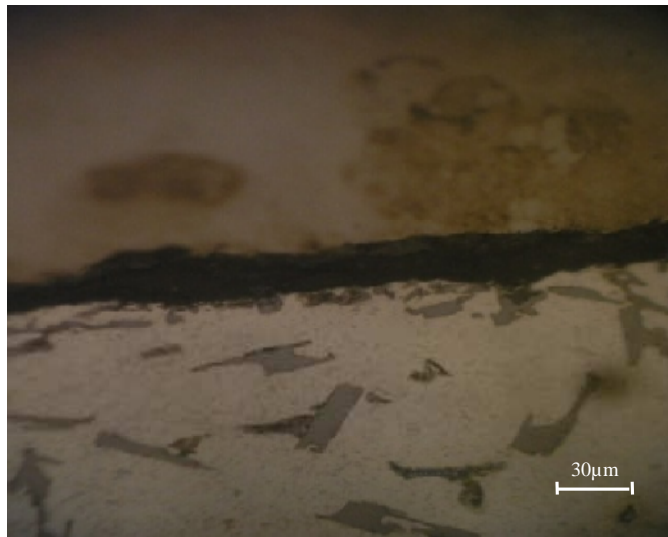
a. 75% PB + 25% ADC12



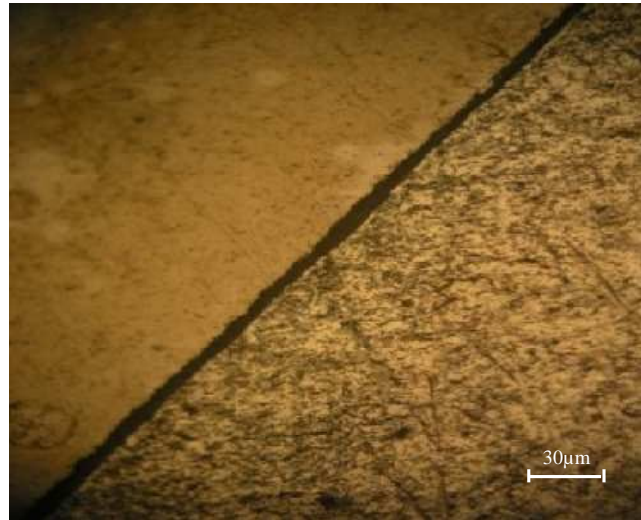
b. 50% PB + 50% ADC12



c. 25% PB + 75% ADC12



d. 100 % PB



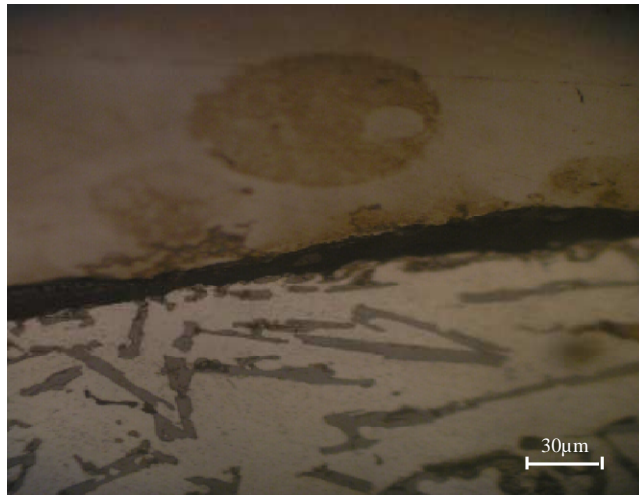
e. 100 % ADC 12

Gambar 4.8 Hasil pengamatan stuktur mikro hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* ST 60 pada temperatur penuangan 750°C

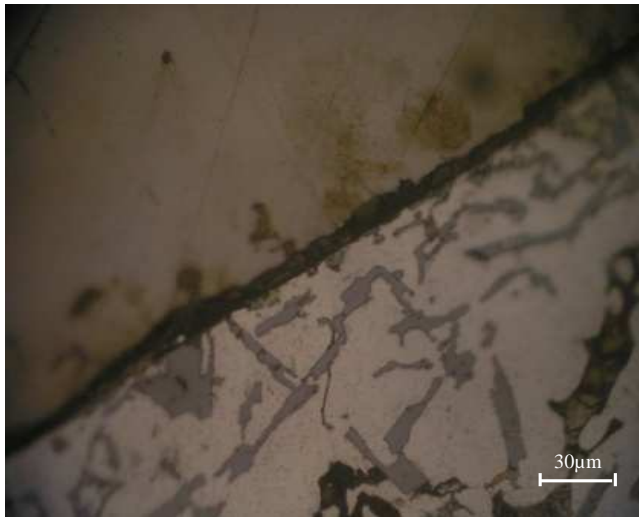
Pengamatan stuktur mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* ST 60 pada temperatur penuangan 800°C terlihat pada gambar 4.9 berikut ini.



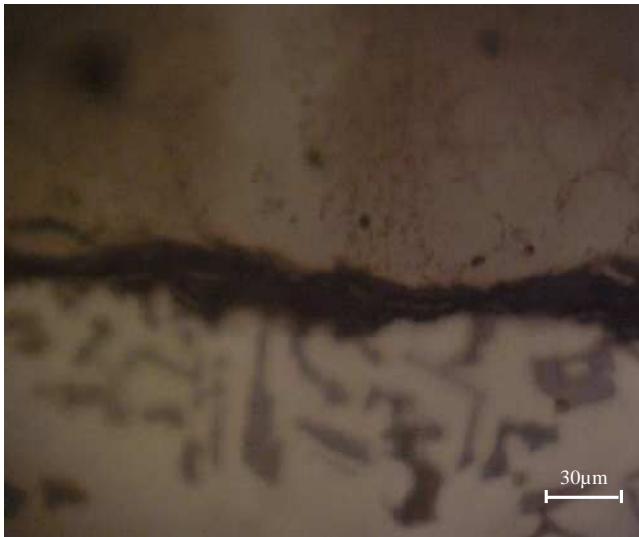
a. 75% PB + 25% ADC12



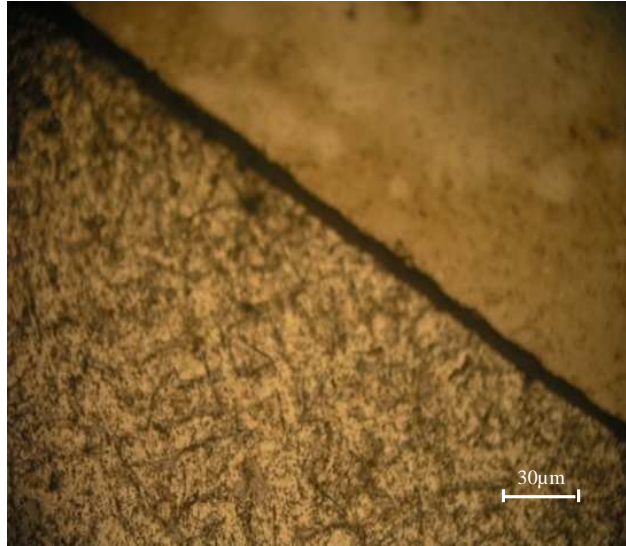
b. 50% PB + 50% ADC12



c. 25% PB + 75% ADC12



d. 100 % PB



e. 100% ADC 12

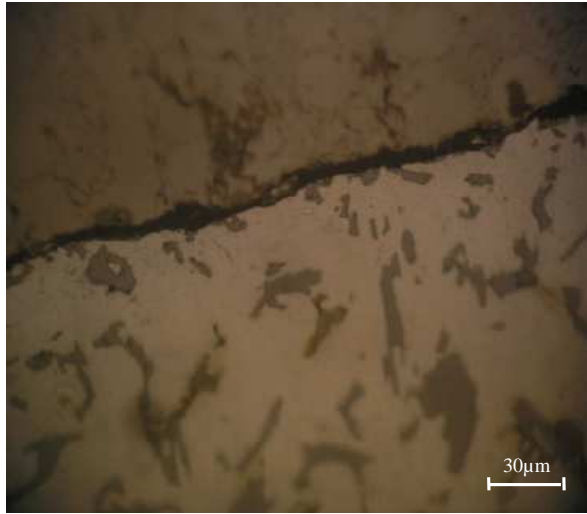
Gambar 4.9 Hasil pengamatan struktur mikro hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* ST 60 pada temperatur penuangan 800°C

4.3.2.2 Hasil struktur mikro specimen dengan *insert* besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

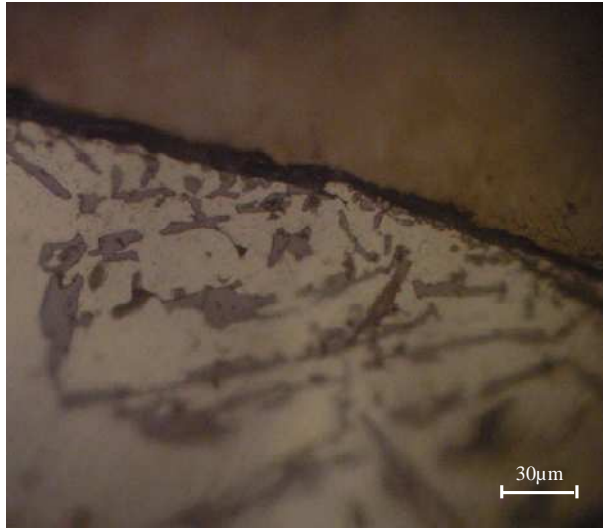
Hasil pengamatan struktur mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* besi cor pada temperatur penuangan 700°C terlihat pada gambar 4.10 berikut ini:



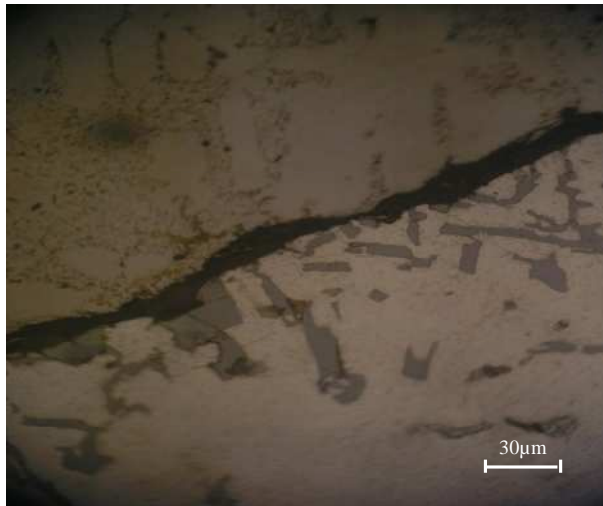
a. 75% PB + 25% ADC12



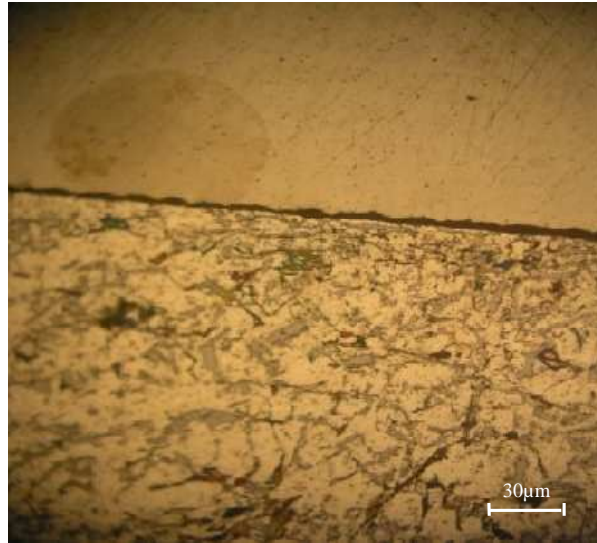
b. 50% PB + 50% ADC12



c. 75% PB + 25% ADC12



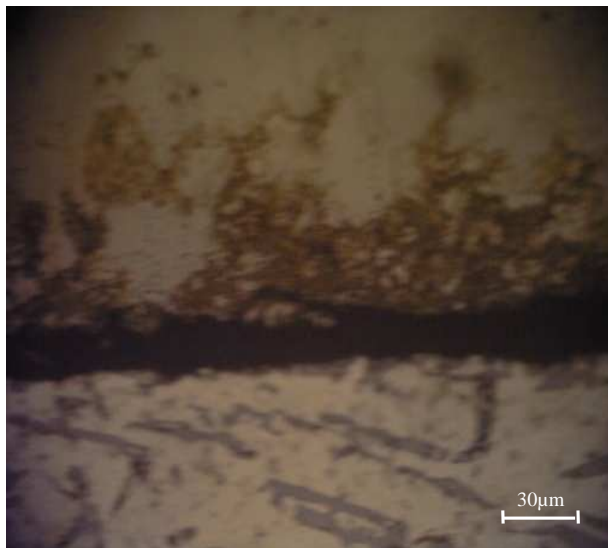
d. 100% PB



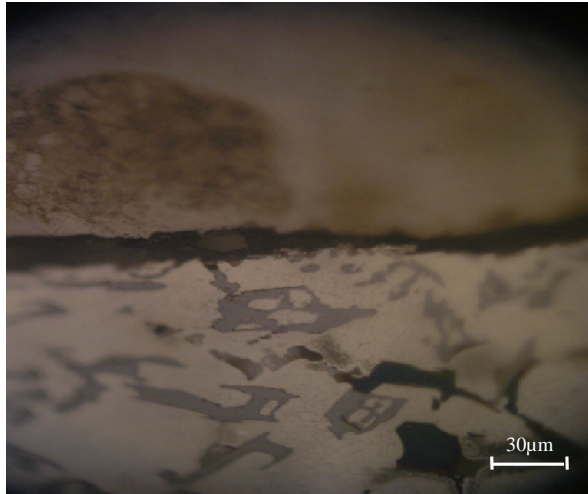
e. 100% ADC 12

Gambar 4.10 Hasil pengamatan stuktur mikro hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan insert besi cor pada temperatur penuangan 700°C

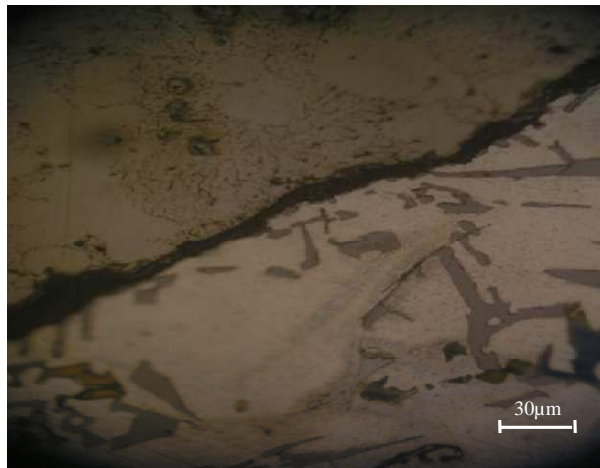
Pengamatan stuktur mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* besi cor pada temperatur penuangan 750°C terlihat pada gambar 4.11 berikut ini:



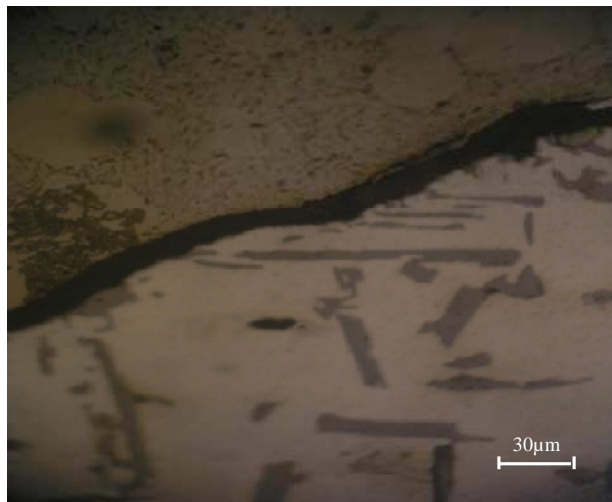
a. 75% PB + 25% ADC12



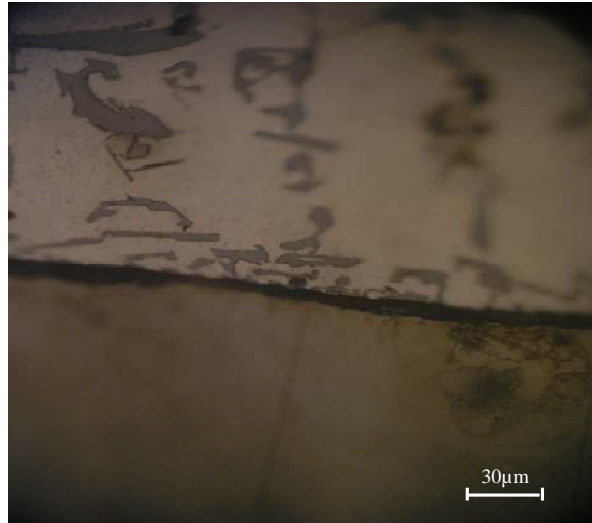
b. 50% PB + 50% ADC12



c. 75% PB + 25% ADC12



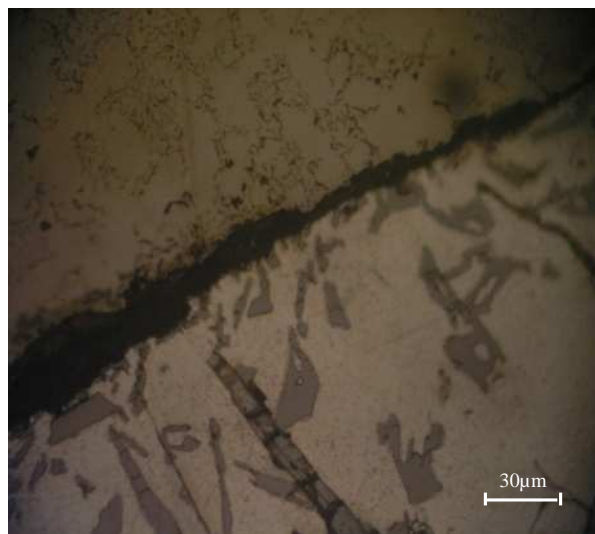
d. 100% PB



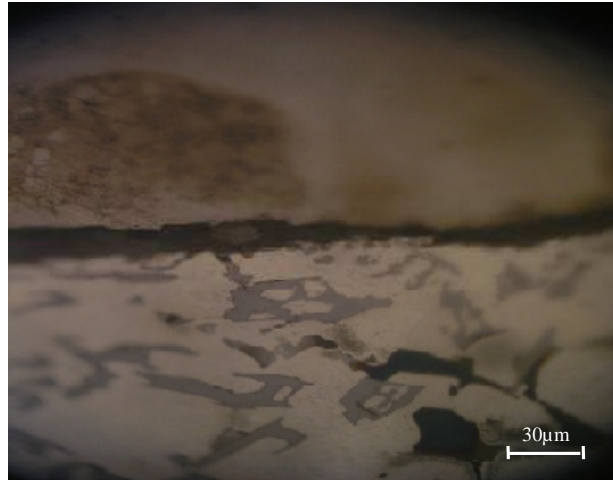
e. 100% ADC 12

Gambar 4.11 Hasil pengamatan stuktur mikro hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* besi cor pada temperatur penuangan 750°C

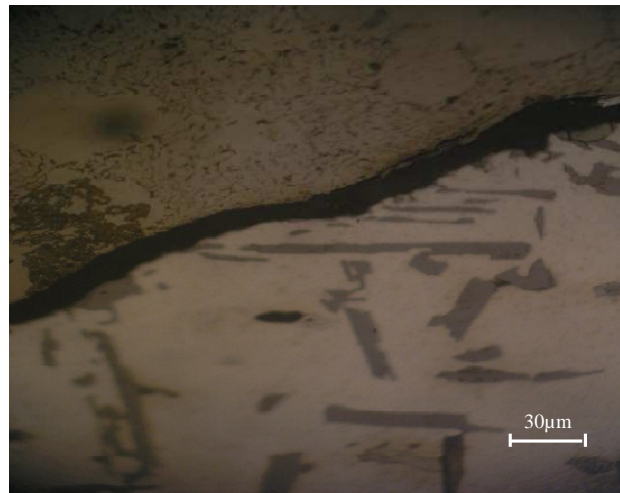
Pengamatan stuktur mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* besi cor pada temperatur penuangan 800°C terlihat pada gambar 4.12 berikut ini:



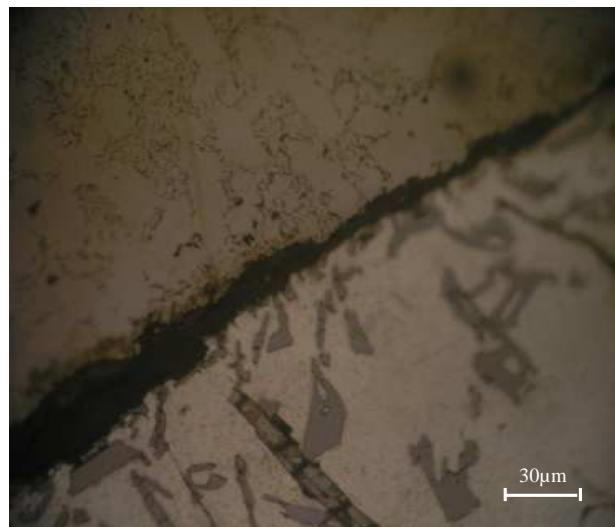
a. 75% PB + 25% ADC12



b. 50% PB + 50% ADC12



c. 75% PB + 25% ADC12



d. 100% PB



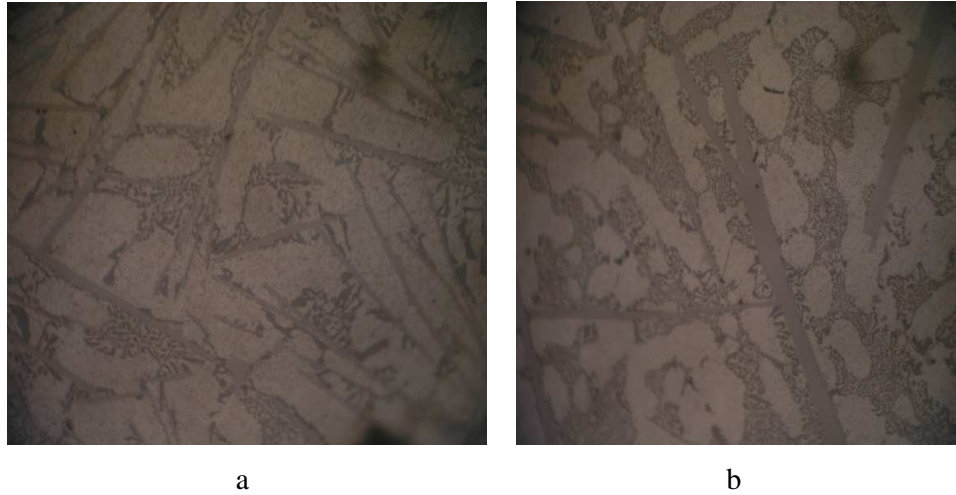
e. 100% ADC 12

Gambar 4.12 Hasil pengamatan struktur mikro hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* besi cor pada temperatur penuangan 800°C

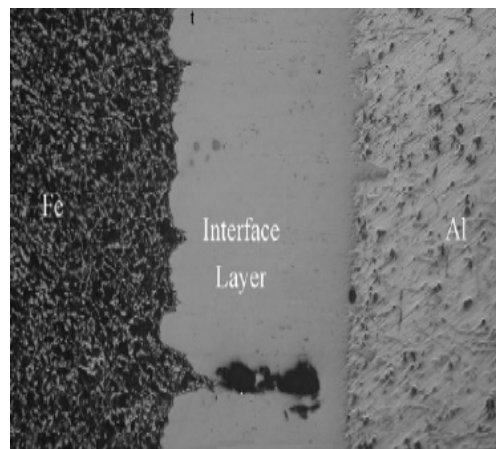
4.3.2.3 Pembahasan struktur mikro specimen dengan *insert* ST 60 dan besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

Pada pengamatan struktur mikro hasil pengecoran prototipe material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 disertai *insert* ST 60 dan besi cor, diperoleh beberapa data seperti berikut:

- 1) Seiring dengan penambahan ADC 12 ke dalam pengecoran limbah piston bekas dapat meningkatkan unsur % Si dalam paduan. Hal ini bisa terlihat dari semakin bertambahnya fasa Si dan semakin meratanya persebaran pada paduan aluminium yang ditunjukkan pada gambar 4.13. Hasil ini mendukung dan memperkuat hasil pengujian komposisi yang dilakukan. Dan penambahan ADC 12 mengurangi keberadaan *impurity* maka laju defusi Fe ke cairan aluminium lebih optimal. Seperti diketahui bahwa afinitas logam aluminium terhadap besi (Fe) sangat tinggi, sehingga reaksi fisika-kimia antar muka (*interface reaction*) mudah terjadi (Joshi, 2003). *Interface reaction* yang terjadi akan menghasilkan pembentukan *intermetalik Fe - Al - Si* pada ruang antar *insert* (ST 60 dan besi cor) dengan paduan aluminium (Gambar 4.14).



Gambar 4.13 Struktur mikro penambahan ADC 12 a) komposisi paduan 50% PB + 50% ADC 12 b) 25% PB + 75% ADC 12



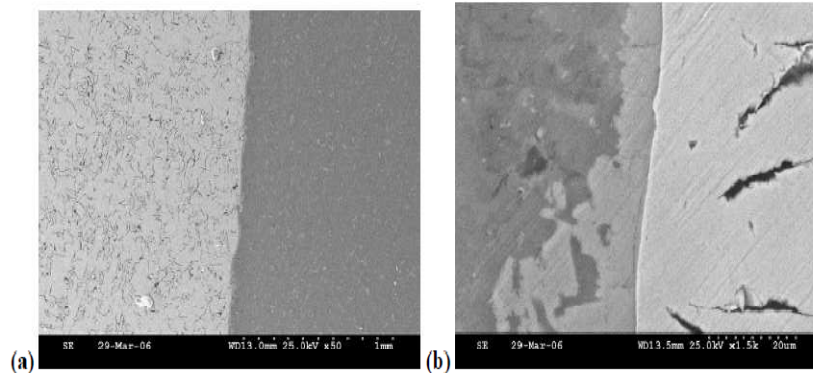
Gambar 4.14 *Intermetalik Fe - Al - Si* pada *Interface layer* hasil dari interaksi antara Fe dengan Al (Vaillant, 1995)

- 2) Semakin meningkatnya temperatur penuangan lebar *interface layer* semakin tebal antara *insert* (ST 60 dan besi cor) dengan paduan aluminium yang bisa dilihat pada tabel 4.9. Hal ini dimungkinkan laju pembekuan yang terjadi lebih lambat dan semakin meningkatnya temperatur penuangan menjadikan porositas semakin tinggi yang disebabkan hidrogen mengembang dan terjebak dalam material aluminium pada waktu pembekuan (tabel 2.1)

Tabel 4.9. Ketebalan interface layer prototipe piston bimetal

Spesimen	Ketebalan <i>Interface layer</i> (μm)					
	ST 60			Besi cor		
	700°C	750°C	800°C	700°C	750°C	800°C
Piston bekas	10	14	16	11	15	16
75 PB + 25 ADC	9	12	13	10	14	15
50 PB + 50 ADC	8	12	12	10	12	14
25 PB + 75 ADC	8	10	9	9	11	13
ADC 12	6	7	8	7	9	11

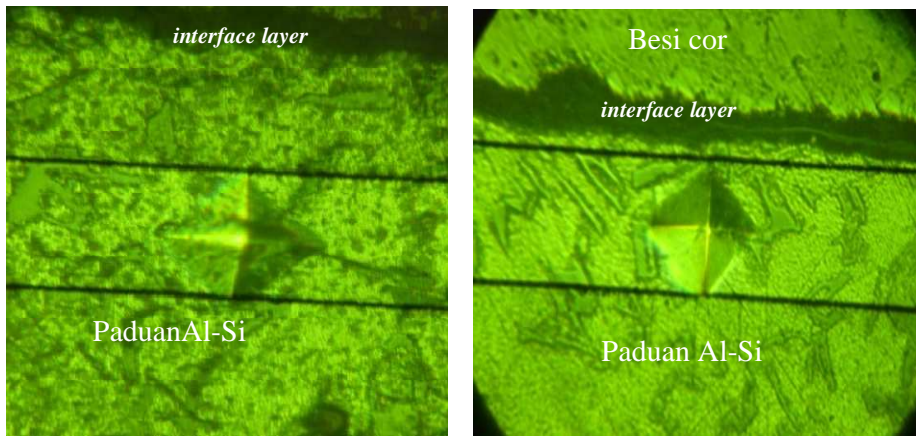
- 3) Dari pengamatan struktur mikro jarak *interface layer* berbeda-beda antara insert besi cor dan ST 60 (tabel 4.10). Hal ini dikarenakan besi cor dan ST 60 mempunyai perbedaan temperatur cair. ST 60 mempunyai titik cair 1500°C lebih tinggi dibandingkan besi cor 1150°C. Sehingga ketika pemanasan awal *insert* pada temperatur 450°C besi cor sudah mengalami perubahan warna merah material dibandingkan ST 60. Cairan aluminium yang dituang kedalam cetakan dengan *insert* besi cor mempunyai *wetting ability* yang lebih baik dibanding penuangan pada cetakan dengan *insert* ST 60. Seperti diketahui *wetting ability* dipengaruhi oleh keseimbangan gaya adhesif dan kohesif logam cair dan logam padat yang dipadukan (Mohd, 2008).
- 4) Spesimen yang memiliki sifat mekanik paling dari pengamatan struktur mikro yaitu pada komposisi paduan 25% PB + 75% ADC 12 pada temperatur penuangan 700°C dengan *insert* besi cor. Struktur mikro ini memiliki kesamaan pada struktur mikro *interface layer* piston dengan *insert* besi cor dengan pendinginan air yang bisa dilihat pada gambar 4.15.



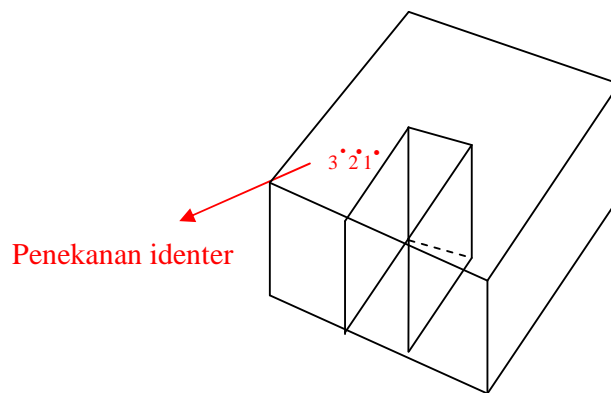
Gambar 4.15 a) *Interface layer* piston dengan pendinginan air (50X) b) *interface layer* piston dengan pendinginan air (1500X) (Uthayakumar, 2008).

4.3.3 Pengujian Kekerasan mikro

Pengujian kekerasan mikro ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan dekat *interface layer* yang berupa lapisan *intermetallic* (Gambar 4.16). Dengan meningkatnya kadar Fe dalam lapisan *intermetallic* yang terbentuk akan mengakibatkan peningkatan kekerasan (Vaillant, 1995). Untuk posisi penekanan identer pada specimen uji yang dilakukan tiga kali dengan jarak yang berbeda-beda yaitu 50 μm , 150 μm dan 250 μm yang bisa dilihat pada gambar 4.17. Alat yang digunakan untuk menguji kekerasan menggunakan *Vickershardness* dengan beban 200 gram selama 10 detik.



Gambar 4.16 Pengujian kekerasan mikro dengan *Vickershardness*



Gambar 4.17 Posisi penekanan identer *Vickershardness*

4.3.3.1 Hasil pengujian kekerasan mikro dengan insert ST 60 pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

Hasil kekerasan mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan insert ST 60 pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C terlihat pada tabel 4.10 berikut ini:

Tabel 4.10 Hasil kekerasan mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan insert ST 60 pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

Spesimen	Kekerasan mikro dengan insert ST 60 (HVN)								
	700°C			750°C			800°C		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ADC 12 Murni	120.4	120.4	116.2	119.3	116.2	115.2	116.2	116.0	116.0
Piston Bekas Murni	103.0	101.8	100.5	103.9	100.0	98.9	95.3	95.5	95.9
75% PB + 25% ADC 12	105.6	105.6	104.8	103.9	103.0	102.2	99.7	98.9	98.9
50% PB + 50% ADC 12	109.3	108.4	107.5	106.5	105.6	104.8	104.8	102.2	102.2
25% PB + 75% ADC 12	110.2	109.3	108.4	109.3	107.5	106.5	106.5	106.5	105.6

4.3.3.2 Hasil pengujian kekerasan mikro dengan insert besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

Hasil kekerasan mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan insert besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C terlihat pada Tabel 4.11 berikut ini:

Tabel 4.11 Hasil kekerasan mikro terhadap hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan insert besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

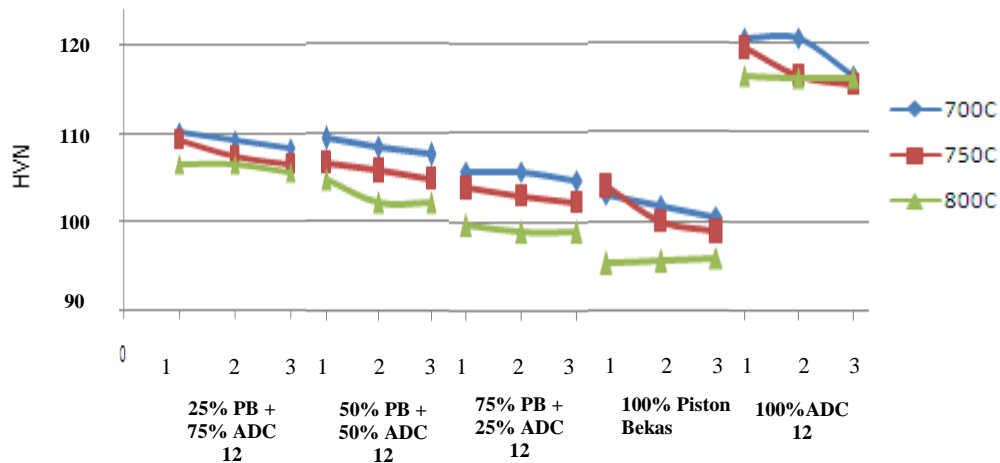
Spesimen	Kekerasan mikro insert Besi cor (HVN)								
	700C			750C			800C		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
ADC 12 Murni	120.3	119.2	119.2	116.4	114.2	113.5	113.2	112.2	109.3
Piston Bekas Murni	103.9	101.3	100.5	102.9	100.0	98.9	101.3	100.5	97.3
75% PB + 25% ADC 12	106.5	105.6	103.0	105.5	104.8	101.3	103.0	101.3	101.3
50% PB + 50% ADC 12	109.3	107.5	107.4	107.5	109.3	103.9	106.5	104.8	104.8
25% PB + 75% ADC 12	113.2	112.3	109.6	112.2	109.3	108.4	111.2	106.5	106.5

4.3.3.3 Pembahasan hasil pengujian kekerasan mikro dengan *insert* ST 60 dan besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

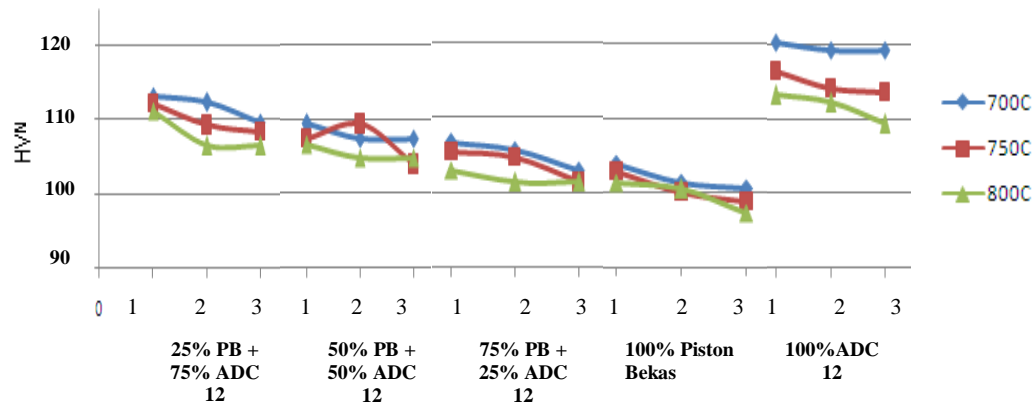
Pada pengujian kekerasan mikro lapisan *intermetalik* hasil pengecoran prototipe material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 disertai *insert* ST 60 dan besi cor, diperoleh beberapa data seperti berikut:

- a. Penambahan material ADC 12 meningkatkan nilai kekerasan mikro dekat *interface* yang dihasilkan cenderung menunjukkan grafik yang meningkat. Fenomena ini terlihat seperti ditunjukkan oleh grafik pada gambar 4.18 dan 4.19.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Suharno, B: 2007, yang melakukan penelitian tentang pengaruh waktu kontak terhadap reaksi antar muka paduan aluminium 7% Si dan Aluminium 11% Si dengan baja cetakan SKD 61. Hasil penelitian Suharno, B. menunjukkan bahwa kekerasan lapisan dekat *intermetalik* paduan Al-Si semakin tinggi unsur Si, kekerasan yang dihasilkan semakin tinggi juga.

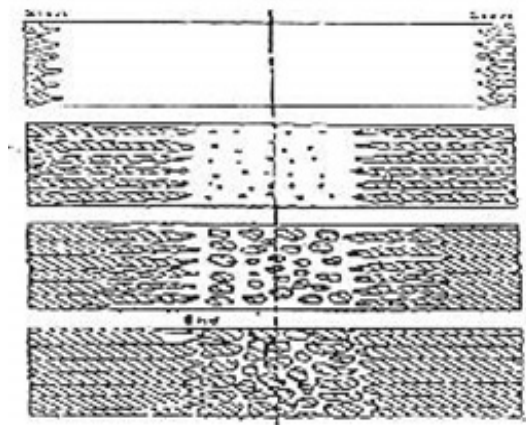


Gambar 4.18 Kekerasan mikro dekat *interface* hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* ST60 (HVN)



Gambar 4.19 Kekerasan mikro dekat *interface* hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* besi cor (HVN).

- b. Semakin tinggi temperatur penuangan baik pada *insert* ST 60 maupun besi cor nilai kekerasan mikro dekat *interface* cenderung menurun diakibatkan laju pembekuan lebih lambat. Pada penekanan identer nomor 1, 2 dan 3 pada specimen uji terjadi perbedaan kekerasan ini disebabkan semakin dekatnya paduan aluminium dengan *insert* yang suhunya dibawah temperatur penuangan mengalami pembekuan lebih awal dibandingkan ditengah sehingga ukuran butir lebih halus dan padat dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan (Callister,1990) ini bisa dilihat pada gambar 4.20.

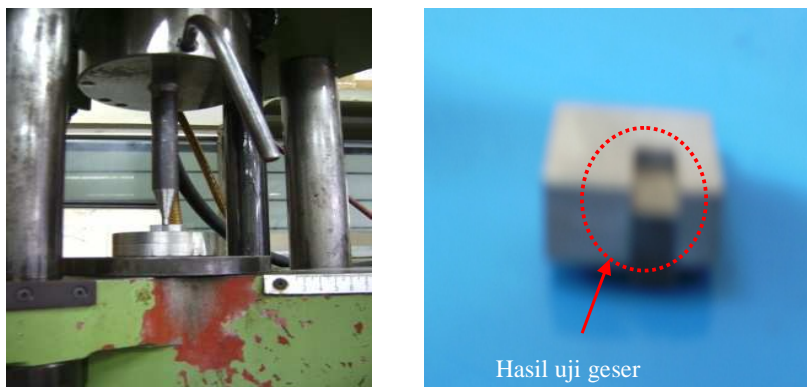


Gambar 4.20 Skematis laju pembekuan logam coran (John, 1994)

- c. Untuk kekerasan dekat *interface* antara ST 60 dan besi cor memiliki nilai kekerasan hampir sama tetapi pada besi cor memiliki kekerasan sedikit lebih tinggi ini bisa dilihat pada gambar 4.18 dan 4.19. Hal ini disebabkan besi cor dan ST 60 mempunyai perbedaan temperatur cair dimana ST 60 (1550°C) lebih tinggi dibandingkan besi cor (1150°C), sehingga ketika pemanasan awal *insert* dan cetakan dengan suhu 450°C, besi cor sudah mengalami perubahan warna merah sedangkan pada ST 60 belum terjadi, Sehingga besi cor ada waktu membeku bersama-sama dengan paduan aluminium.
- d. Nilai kekerasan tertinggi 113,2 HVN pada material dengan komposisi 25% Piston bekas + 75% ADC 12 dengan *insert* besi cor dan suhu penuangan 700°C. Hasil kekerasan tertinggi tersebut jika dibandingkan dengan kekerasan material piston original Daihatsu 139 HVN, AA333.0 kekerasan 118 HVN dan kekerasan standarisasi piston Cina 144 HVN masih dibawahnya. Sehingga perlu dilakukan usaha peningkatan kekerasan prototipe material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 disertai *insert* ST 60 dan besi cor dengan cara perlakuan panas (*Heat treatment*)

4.3.4 Kekuatan Uji Geser (*shear Strength*)

Untuk mengetahui kekuatan ikatan interface antara aluminium dan ST 60 dan aluminium dengan besi cor dilakukan uji geser dengan menggunakan UTM (*universal testing machine*) metode *pushout test*. Pada pengujian geser ini, karena spesimen yang terlalu kecil maka dikembangkan alat bantu berupa penekan dengan diameter 4 mm, beban skala 20 Newton dengan kecepatan 2 mm/menit (Gambar 4.21).



Gambar 4.21 Proses pengujian geser

4.3.4.1 Hasil pengujian geser dengan *insert* ST 60 pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

Hasil pengujian geser pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* ST 60 pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C ditunjukkan pada tabel 4.12 sebagai berikut:

Tabel 4.12 Hasil pengujian kekuatan geser hasil pengecoran limbah piston dikuatkan dengan *insert* ST 60 pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

Spesimen	Kekuatan geser insert ST 60 (MPa)		
	700°C	750°C	800°C
75% Pb + 25 % ADC	19.59	18.71	17.12
50Pb+ 50% ADC 12	22.53	21.18	19.27
25%PB + 75% ADC12	24.60	23.49	22.29
ADC 12	27.79	25.48	23.13
PISTON BEKAS MURNI	19.27	18.23	16.64

4.3.4.2 Hasil pengujian geser dengan *insert* besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

Hasil pengujian kekuatan geser hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C ditunjukkan pada tabel 4.13 sebagai berikut:

Tabel 4.13 Hasil pengujian kekuatan geser hasil pengecoran limbah piston dikuatkan dengan *insert* besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

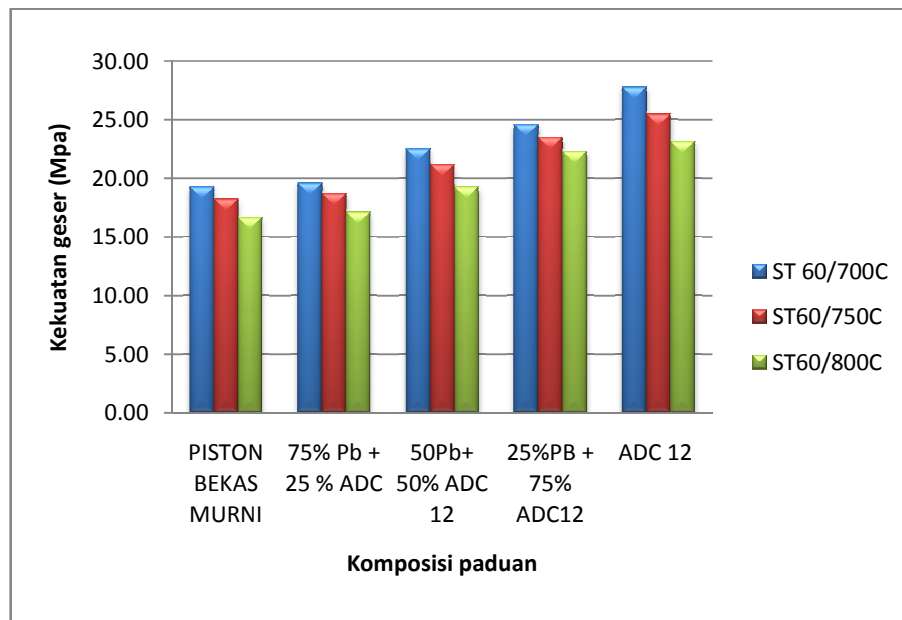
Spesimen	Kekuatan geser insert Besi Cor (MPa)		
	700°C	750°C	800°C
75% Pb + 25 % ADC	21.26	19.47	18.87
50Pb+ 50% ADC 12	23.41	22.46	21.26
25%PB + 75% ADC12	25.32	23.72	21.86
ADC 12	27.79	26.11	23.30
PISTON BEKAS MURNI	19.67	17.95	17.95

4.3.4.3 Pembahasan hasil pengujian kekuatan geser dengan *insert* ST 60 dan besi cor pada temperatur penuangan 700, 750 dan 800°C

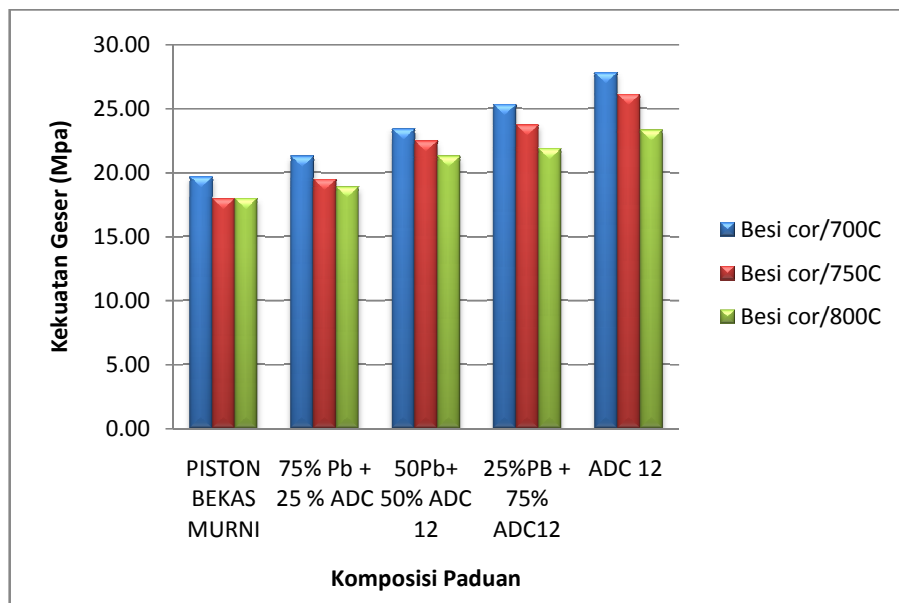
Pada pengujian kekuatan geser lapisan *intermetalik* hasil pengecoran prototipe material piston berbasis limbah piston bekas dengan penambahan ADC 12 disertai *insert* ST 60 dan besi cor, diperoleh beberapa data seperti berikut:

- a. Seiring penambahan material ADC 12 nilai kekuatan geser pada lapisan *intermetalik* yang dihasilkan cenderung menunjukkan grafik yang meningkat. Fenomena ini terlihat seperti ditunjukkan oleh grafik pada gambar 4.22 dan 4.23.

Hasil penelitian ini mendukung dan sejalan dengan hasil pengujian komposisi. Dimana dengan penambahan ADC12, *interface reaction* yang terjadinya lebih optimal, sehingga menghasilkan pembentukan *intermetalik Fe - Al - Si yang lebih kuat* pada ruang antar *insert* (ST 60 dan besi cor) dengan paduan Al.



Gambar 4.22 Kekuatan geser lapisan *intermetalik* hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* ST60



Gambar 4.23 Kekuatan geser lapisan intermetalik hasil pengecoran limbah piston yang dikuatkan dengan *insert* besi cor

- b. Meningkatnya temperatur penuangan baik pada *insert* ST 60 maupun besi cor nilai kekuatan geser di daerah intermetalik cenderung menurun. Tingginya kekuatan geser pada temperatur penuangan 700°C baik pada *insert* ST 60 maupun besi cor, hal ini dimungkinkan memiliki laju pembekuan yang lebih cepat dibandingkan temperatur penuangan yang lain.
- c. Kekuatan geser pada *insert* besi cor lebih tinggi dibandingkan dengan *insert* ST 60. Hal ini dikarenakan faktor *wetting ability* (kemampuan keterbasahan) cairan aluminium dalam menjaga kontak dengan permukaan padat yang dihasilkan dari interaksi intermolekuler cairan aluminium yang menyatu bersama-sama dengan *insert* besi cor yang titik lebur lebih rendah dari ST 60 (Mohd, 2008).
- d. Besi cor dan ST 60 mempunyai perbedaan temperatur cair dimana ST 60 mempunyai titik cair 1550°C lebih tinggi dibandingkan besi cor 1150°C. Sehingga ketika terjadi pemanasan awal *insert* pada temperatur 450°C besi cor lebih mengalami pemanasan lebih optimal dibandingkan ST 60. Pada besi cor sudah mengalami perubahan warna merah sedangkan pada ST 60 belum terjadi. Sehingga besi cor ada waktu membeku bersama-sama dengan paduan aluminium.

- e. Nilai kekuatan geser tertinggi 24.68 MPa pada komposisi material 25% Piston bekas + 75% ADC 12 dengan *insert* besi cor dan suhu penuangan 700°C. Nilai kekuatan geser ini mendekati nilai kekuatan geser pada penelitian Durrant (1996) 30,5 MPa.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Dari beberapa pengujian yang memiliki sifat mekanik paling optimal pada komposisi 25% PB + 75 ADC 12 + suhu Penuangan 700C + *insert* besi cor
2. *Insert* yang memiliki sifat mekanik paling baik pada besi cor karena memiliki titik lebur mendekati temperatur pemanasan awal
3. Temperatur penuangan semakin rendah, kekerasan semakin meningkat, ikatan interface semakin rapat.
4. Nilai kekerasan daur ulang piston paling tinggi yaitu 113.2 HVN jika dibandingkan dengan kekerasan material piston original Daihatsu 139 HVN masih dibawahnya. Dan dari uji komposisi terdapat perbedaan komposisi unsur Si 8,7 wt % (piston daur ulang) dan Si 10,7 wt % (piston Daihatsu). Karena sifat mekanik daur ulang piston masih dibawah standar maka perlu dilakukan perlakuan panas (*Heat treatment*).

5.2 Saran

1. Pengecoran piston pada penelitian ini menggunakan metode pengecoran gravitasi, sehingga masih banyak diperlukan penelitian-penelitian lanjutan untuk mendalami proses pengecoran sentrifugal, cetak tekan, die casting yang dapat meningkatkan sifat mekaniknya
2. Pada penelitian ini hanya terbatas tiga parameter yaitu komposisi paduan, *insert* alur ring dan suhu penuangan, sehingga sifat mekanik masih kurang maksimal.
3. Material piston bekas banyak impuriti karena kurangnya kebersihan menyebabkan sifat mekaniknya menurun. Maka penelitian lanjutan pada material piston bekas yang sama perlu dilakukan pembersihan yang baik.

4. Hasil piston pengecoran gravitasi masih banyak terdapat porositas, maka penelitian lanjutan perlu memperhatikan tekanan penuangan dan udara jebakan.
5. Material *insert* piston tidak dibahas sifat mekanik secara menyeluruh, untuk penelitian lanjutan perlu melakukan pengujian kekerasan, kekuatan tarik dan fatik
6. Untuk penelitian lanjutan perlu mempelajari *interface layer* yang muncul karakteristik senyawa dan karakteristik fasa dengan menggunakan SEM atau TEM

DAFTAR PUSTAKA

- AFS Sand And Core Testing Handbook.*, 2004
- ASM International. All Rights Reserved Aluminum-Silicon Casting Alloys: Atlas Microfractographs*, 2004
- ASM Handbook, Volume 1.*, 2005 Properties and Selection.
- ASM Metal Handbook Vol.8 .*, 1998
- ASM Handbook, Vol. 15.*, 1998
- ASTM Handbook E18 .*, 2002
- ASTM Handbook E92.*, 2004.
- Budinski., 2001, " *Engineering Materials Properties and Selection*," PHI New Delhi, pp. 517–536.
- Begüm Akkayan, DDS, PhD, Burcu Sahin, DDS, and Hubert Gaucher, DDS, MScD., 2008, *The Effect of Different Surface Treatments on the Bond Strength of Two Esthetic Post Systems*,
- B. H. Amstead, *Teknologi Mekanik*, Terjemahan Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta, 1987
- Bambang Suharno., 2007., *Pengaruh Waktu Kontak Terhadap Reaksi Antarmuka Paduan Aluminium 7%-Si dan Aluminium 11%Si Dengan Baja cetakan SKD 61*. 85-91.
- Cole, G S., and Sherman, A. M., 1995, " *Light weight materials for automotive applications*," *Material Characterization*, 35 (1) pp. 3–9.
- Cleonice Silveira Teixeira, Edson Alfredo ., 2009, *Adhesion of an endodontic sealer to dentin and gutta-percha: shear and push-out bond strength measurements and SEM analysis*. *J. Appl. Oral Sci.* vol.17 no.2 Bauru Mar./Apr. 2009
- Durrant, G., Gallerneault, M., Cantor, B., 1996, " *Squeeze cast aluminum reinforced with mild steel inserts*" *J Mater Science*, 31 pp. 589–602.
- Duskiardi., Soejono Tjitro., 2002., *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting Terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro Pada Material Piston Komersial Lokal*.
- Haque, M. M., *et al.*, 2001, " *study on wear properties of aluminum – silicon piston alloy*," *J Material processing technology* , 118 pp. 69–73.
- Hendri Budiman., 2002, *Algoritma Pengujian Komposisi Material*, *Jurnal teknik mesin*. Vol. 5, No. 1, Mei 2002: 11 – 15
- Hari subiyanto., subowo., (2008) *pengaruh temperatur penuangan aluminium A-356 pada proses pengecoran terhadap sifat mekanis dan struktur mikro coran*.
- H.P.Garg, (1976) *Industrial Maintenance.*, S.Chand & Company LTD., New delhi-110055.
- J.V. Sivaprasad.,(2008), " *Study on alumunium alloy piston reinforced with cast iron insert*" New Delhi, pp 1-10
- John R. Brown., 1994, *feseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook* Eleventh edition Revised and edited

- Joshi, V, A. Srivastava and R. Shivpuri. *Intermetallic Formation and Its Relation to Interface Mass Loss and Tribology in Die Casting Dies*, Elsevier B.V. New Zealand, 2003, p.2233.
- 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.
- Kepolisian Republik Indonesia [2005], *Jumlah Kendaraan Bermotor menurut Jenisnya*, Indonesia 1987-2005
- Khurmi, 1984, Machine Design, Eurasia Publishing House Ltd, New Delhi.
- MM Resources Limited, China
- Mohammad Zainuddin, *Studi Pengaruh Kondisi Pencelupan dan Proses Cor Terhadap Keadaan Lapisan Intermetalik dan Cacat di Dekat Daerah Cincin Penahan Piston Diesel C-223 yang Dibuat Dengan Menggunakan Metode Alfin*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 1995.
- Mazlee Mohd., Shamsul Baharin Jamaludin., Kamarudin Hussin., (2008)., *Microstructural Study Of Al-Si-Mg alloy reinforced with Stainless Steel wire Composite Via Casting Technique.*, 721-725, 2008
- M. Uthayakumar, G. Prabhakaran, S. Aravindan and J.V. Sivaprasad., 2008., *Study on Aluminum alloy piston reinforced with cast iron insert*. ISSN 0973-4589 Volume 3, Number 1 (2008), pp. 1–10. India
- Noorsy. 2007, *impur Aluminium akan melonjak*, Sinar Harapan, 5542.
- Neff, D.V., 2002, *Understanding Aluminium Degassing*, Modern Casting, May 2002, p.24-26.
- Peter Andersson, Jaana Tamminen & Carl-Erik Sandström., 2002., *Piston ring tribology.*, Otamedia Oy, Espoo 2002
- Rochim, taufiq. (2001), *Spesifikasi metrologi dan control kualitas geometrik*, institute teknologi bandung: Bandung
- Smith, F. William. 1995. *Material Science and engineering. (second edition)*. New York: Mc Graw- Hill inc.
- Surdia, Tata & Saito, Shinroku. 1992. *Pengetahuan Bahan Teknik. (edisi kedua)*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Surdia, T. dan Cijjiwa K, 1991, *Teknik Pengecoran Logam*, PT Pradnya Paramita, Jakarta
- Surdia, T. dan Shinroku, 1982, *Pengetahuan Bahan Teknik*, PT Pradnya Paramita, Jakarta
- Smallman, R.E., 1985, "Metalurgi Fisik Modern", Gramedia, Jakarta, hal. 347
- Suhariyanto ., 2002., *Perbaikan Sifat Mekanik Paduan Aluminium (A356.0) dengan Menambahkan TiC*
- Shankar, Sumanth and Diran Apelian. *Die Soldering: Mechanism of the Interface Reaction Between Molten Aluminum Alloy and Tool Steel*. Metallurgical And Materials Transactions Vo. 33B(2002) 46
- Stephen Chastain., 2004., *Making piston for experiment and restoration engines.*, ISBN 0-9702203-4-0.
- Teng-shih shih., shu-hao tu., (2006) *interaction of steel with pure Al, Al-7Si and A356 alloys.*, A454-455 (2007)

- Tri Tjahjono., 2005., *Analisa Keausan Pada Dinding Silinder Mesin Diesel.*, Media Mesin Volume 6. ISSN 1411-4348.
- Viala, V. C., Peronnet. M., Bosselet F., Bouix, J., 2002, “*Interface chemistry in aluminum alloy with iron base inserts,*” *Composites, Part A*, 33, pp. 1417– 1420
- Vaillant ,P., Petitet, J. P.,1995, “*Interactions under hydrostatic pressure of mild steel with liquid aluminum alloys,*” *JMater Science* 30 pp 4659–4668
- Vinesh Raja and Kiran J. Fernandes,. (2008) *Reverse Engineering An Industrial Perspective.*, Springer Science+Business Media.
- Wang ,Y ., *et al*, 2005, “*Scuffing resistance of coated piston skirts run against cylinder bores*” *Wear*” 259, pp. 1041–1047.
- Wahyudi K dan Tiendas. (1996), *Pengaruh unsur Si, Cu, Zn terhadap peningkatan kekerasan paduan aluminium.* 734-736
- William D. Callister,Jr., 1990., *Materials Science And Engineering An Introduction.*, second edition., New York
- www.alibaba.com
- www.wirro.blogspot.com