

## ANALISIS SIFAT KEKERASAN, SIFAT KIMIA, DAN STRUKTUR MIKRO LIMBAH PISTON

Nurhadi<sup>1)</sup>, Endang Mawarsih<sup>2)</sup>, Catur Pramono<sup>3)</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar  
email: nurhadi@untidar.ac.id

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar  
email: endfamaous@yahoo.com

<sup>3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tidar  
email: caturpramono@untidar.ac.id

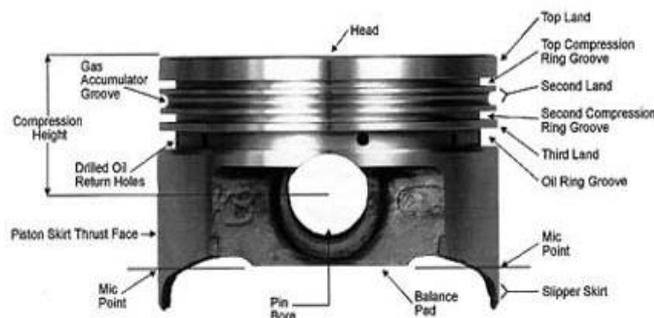
### Abstract

*Technological developments in the automotive field are growing, including the use of lighter, stronger, and resistant corrosion, one of which uses aluminum. The use of aluminum alloys is currently increasing from year to year. This can be seen from the order of the use of aluminum alloy metal which ranks second after the use of ferrous or steel, and in the first place for nonferrous metals. The annual demand for aluminum in Indonesia reaches 200,000 to 300,000 tons. The research on the use of scrap metal aims to provide solutions to problems faced by entrepreneurs in the transportation sector, especially the problem of the availability of spare parts and the high price of vehicle parts. In addition, it also reduces piston waste, which is difficult to degraded in nature. Therefore, research needs to be done about piston waste. The result showed that the average hardness of the used piston waste test obtained i.e. 77 HRB, which included the type of AA.333.0 alloy, and the micro structure of the piston waste was dominated by aluminum and silicate.*

**Keywords:** piston, hardness, microstructure

### 1. PENDAHULUAN

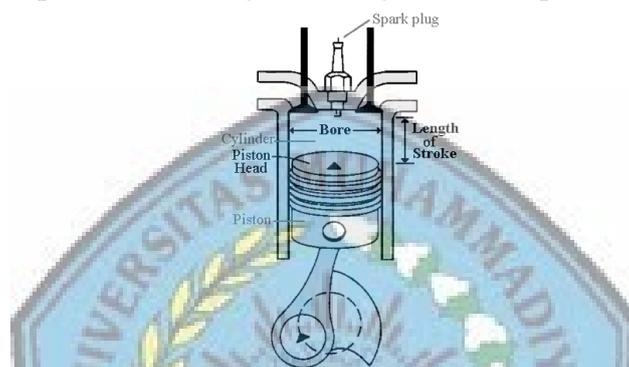
Piston atau torak berfungsi sebagai penekan udara masuk dan penerima hentakan pembakaran pada ruang bakar silinder liner. Komponen mesin ini dipegang oleh setang piston yang mendapatkan gerakan turun-naik dari gerakan berputar poros engkol. Bentuk bagian-bagian piston dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Bagian-bagian piston

Piston bekerja tanpa henti selama mesin hidup. Komponen ini menerima temperatur dan tekanan tinggi sehingga mutlak harus memiliki daya tahan tinggi (Wjayanti dan Irwan, 2014). Oleh karena itu, pabrikan kini lebih memilih aluminium (Al-Si). Logam ini diyakini mampu meradiasikan panas yang lebih efisien dibandingkan

material lainnya. Karena piston bekerja pada temperatur tinggi maka, pada bagian-bagian tertentu seperti antara diameter piston dan diameter silinder ruang bakar oleh para desainer sengaja diciptakan celah sesuai gambar 2. Celah ini secara otomatis akan berkurang (menjadi presisi) ketika komponen-komponen itu terkena suhu panas. Ini yang kemudian mengurangi terjadinya kebocoran kompresi. Celah piston bagian atas lebih besar dibandingkan bagian bawah. Ukuran celah piston ini bervariasi tergantung dari jenis mesinnya. Umumnya antara 0,02 hingga 0,12 mm. Memakai ukuran celah yang tepat sangat penting. Alasannya, bila terlalu kecil akan menyebabkan tidak ada celah antara piston dan silinder ketika kondisi panas. Kondisi ini akan menyebabkan piston bisa menekan silinder dan merusak mesin. Sebaliknya, kalau celahnya terlalu berlebihan, tekanan kompresi dan tekanan gas hasil pembakaran akan menjadi rendah. Akibatnya mesin kendaraan pun tidak bertenaga dan mengeluarkan asap.



Gambar 2. Celah antara piston dan silinder ruang bakar

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. Saat ini, perkembangan teknologi di bidang otomotif semakin pesat, diantaranya penggunaan material yang lebih ringan, kuat, dan tahan korosi (European Aluminium Association, 2011). 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). 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 *overhaul*. 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.

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). Doehler (1951) telah mematenkan alat untuk memproduksi piston secara massal dengan menggunakan *production die casting machine*. Mesin ini sampai sekarang masih dipakai dalam pembuatan piston, bahkan 90% proses pembuatan piston menggunakan teknik ini. Park dkk (2001) membuat piston dengan cara serbuk yang sudah ditekan disinter pada suhu 580 °C selama 25 menit. Duskiardi dkk (2002) melebur bahan pada suhu 700 °C, dituang pada cetakan yang dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 400 °C dan dilakukan *squeeze casting*. Choi dkk (2005) memanaskan cetakan pada suhu 275 °C, ditekan dengan beban sebesar 200 ton dan ditahan selama 60 detik. Choi dkk (2005). Penelitian Park dkk (2001) menghasilkan piston dengan kekerasan sebesar 77.5 HRB dan kekuatan tarik sebesar 630 MPa. Penelitian Duskiardi dkk (2002) menghasilkan piston dengan kekerasan sebesar 115 BHN. Penelitian Choi dkk (2005) menghasilkan piston dengan kekerasan sebesar 52 HRB.

Nurhadi (2010) melakukan penelitian pada material piston dengan variasi temperatur penuangan 700°C, 750°C, 800°C, komposisi paduan piston yaitu: 75% piston bekas + 25% ADC 12, 50% piston bekas + 50% ADC 12, 25% piston bekas + 75% ADC 12 dan sebagai kontrol piston bekas murni dan ADC 12 murni. Hasil penelitian menunjukkan bahwa piston dan pengembangan prototipe piston terbaik dengan kekerasan 64,5 HRB, porositas terendah 4,613 dan kekasaran setelah machining paling baik 1,58 dicapai pada komposisi 25% piston bekas + 75% ADC 12 dengan temperatur penuangan 700°C.

### 1.1 Paduan Aluminium

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

#### a. Paduan Al-Si

Paduan Al-Si ditemukan oleh A. Pacz tahun 1921. paduan Al-Si yang telah diperlakukan panas dinamakan *Silumin*. Sifat-sifat silumin sangat diperbaiki oleh perlakuan panas dan sedikit diperbaiki oleh unsur paduan. Paduan Al-Si umumnya dipakai dengan 0,15%–0,4%Mn dan 0,5 % Mg. Paduan yang diberi perlakuan pelarutan (*solution heat treatment*), *quenching*, dan *aging* dinamakan *silumin*  $\gamma$ , dan yang hanya mendapat perlakuan aging saja dinamakan *silumin*  $\beta$ . Paduan Al-Si yang memerlukan perlakuan panas ditambah dengan Mg juga Cu serta Ni untuk memberikan kekerasan pada saat panas. Bahan paduan ini biasa dipakai untuk torak motor (Surdia & Saito, 1992).

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

Paduan Al-Cu dan Al-Cu-Mg ditemukan oleh A. Wilm dalam usaha mengembangkan paduan aluminium yang kuat yang dinamakan *duralumin*. Paduan Al-Cu-Mg adalah paduan yang mengandung 4% Cu dan 0,5% Mg serta dapat mengeras dengan sangat dalam beberapa hari oleh penuaan dalam temperatur biasa atau *natural aging* setelah *solution heat treatment* dan *quenching*. Studi tentang logam paduan ini telah banyak dilakukan salah satunya adalah Nishimura yang telah berhasil dalam menemukan senyawa *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 (Surdia & Saito, 1992).

c. Paduan Al-Mn

Mangan (Mn) adalah unsur yang memperkuat Aluminium tanpa mengurangi ketahanan korosi dan dipakai untuk membuat paduan yang tahan terhadap korosi. Paduan Al-Mn dalam penamaan standar AA adalah paduan Al 3003 dan Al 3004. Komposisi standar dari paduan Al 3003 adalah Al, 1,2 % Mn, sedangkan komposisi standar Al 3004 adalah Al, 1,2 % Mn, 1,0 % Mg. Paduan Al 3003 dan Al 3004 digunakan sebagai paduan tahan korosi tanpa perlakuan panas.

d. Paduan Al-Mg

Paduan dengan 2 – 3 % Mg dapat mudah ditempa, dirol dan diekstrusi, paduan Al 5052 adalah paduan yang biasa dipakai sebagai bahan tempaan. Paduan Al 5052 adalah paduan yang paling kuat dalam sistem ini, dipakai setelah dikeraskan oleh pengerasan regangan apabila diperlukan kekerasan tinggi. Paduan Al 5083 yang dianil adalah paduan antara ( 4,5 % Mg ) kuat dan mudah dilas oleh karena itu sekarang dipakai sebagai bahan untuk tangki LNG (Surdia & Saito, 1992).

e. Paduan Al-Mg-Si

Paduan Al-Mg-Si dalam sistem klasifikasi AA dapat diperoleh paduan Al 6063 dan Al 6061. Paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan kurang sebagai bahan tempaan dibandingkan dengan paduan – paduan lainnya, tetapi sangat liat, sangat baik mampu bentuknya untuk penempaan, ekstrusi dan sebagainya. Paduan 6063 dipergunakan untuk rangka – rangka konstruksi, karena paduan dalam sistem ini mempunyai kekuatan yang cukup baik tanpa mengurangi hantaran listrik, maka selain dipergunakan untuk rangka konstruksi juga digunakan untuk kabel tenaga (Surdia & Saito, 1992).

f. Paduan Al-Mn-Zn

Di Jepang pada permulaan tahun 1940 Iragashi dan kawan-kawan mengadakan studi dan berhasil dalam pengembangan suatu paduan dengan penambahan kira – kira 0,3 % Mn atau Cr dimana butir kristal padat diperhalus dan mengubah bentuk presipitasi serta retakan korosi tegangan tidak terjadi. Pada saat itu paduan tersebut dinamakan *ESD* atau *duralumin super ekstra*. Selama perang dunia ke dua di Amerika serikat dengan maksud yang hampir sama telah dikembangkan pula suatu paduan yaitu suatu paduan yang terdiri dari: Al, 5,5 % Zn, 2,5 % Mn, 1,5% Cu, 0,3 % Cr, 0,2 % Mn sekarang dinamakan paduan Al-7075. Paduan ini mempunyai kekuatan tertinggi diantara paduan-paduan lainnya. Penggunaan paduan ini paling besar adalah untuk bahan konstruksi pesawat udara, disamping itu juga digunakan dalam bidang konstruksi (Surdia & Saito, 1992).

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1 Metode Pengujian Komposisi Kimia

Uji komposisi kimia dilakukan bertujuan untuk mengetahui kandungan unsur kimia limbah piston yang akan digunakan untuk penelitian. Adapun langkah-langkah untuk mengamati uji komposisi kimia adalah sebagai berikut:

1. Memotong sampel baja sesuai dengan bentuk dan ukuran alat uji komposisi kimia.
2. Membersihkan sampel dengan pengikiran.
3. Mengampelas sampel yang telah dilakukan proses pengikiran.
4. Menguji sampel dengan alat uji *Optical Emission Spectroscopy* (OES) untuk melihat komposisi kimia serta unsur-unsur yang terkandung pada baja yang digunakan.

### 2.2 Metode Pengujian Kekerasan

Kekerasan bahan adalah daya tahan suatu bahan (permukaan bahan) terhadap penetrasi atau indentasi (penusukan atau pemasukan) bahan lain yang

lebih keras, dengan bentuk tertentu dibawah pengaruh daya tertentu. Langkah-langkah pengujiannya sebagai berikut :

1. Siapkan benda uji yang telah dipotong.
2. Letakkan benda uji pada landasan yang sesuai.
3. Letakkan *penetrator* pada benda uji (ingat hanya menempel tidak menekan).
4. Berikan pembebanan sesuai dengan jenis bahan.
5. Tunggu beberapa saat untuk pembebanan benda uji baja karbon sedang dengan waktu  $\pm 5$  detik.
6. Angkat beban dari permukaan bahan.
7. Lakukan pengujian (langkah 2 sampai 6) minimal 3 kali pada tempat yang berbeda,
8. Ukurlah bekas penekanan, kemudian analisis hasil pengujian. Pada pengujian ini menggunakan uji kekerasan brinell.

### 2.3 Metode Pengujian Struktur Mikro

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memeriksa sifat fisis yaitu bentuk dan susunan struktur mikro penyusun limbah piston. Sebelum pengujian benda uji diratakan dahulu kedua permukaan atas dan bawah agar tegak lurus saat diletakkan pada dudukan mikroskop optik, lokasi uji yang akan diamati dihaluskan, dihaluskan secara bertahap menggunakan ampelas nomor 100, 400, 600, 800, 1000, dan kemudian dipoles dengan menggunakan autosol untuk mendapatkan permukaan benda uji yang mengkilap. Untuk mendapatkan karakteristik struktur logam, specimen di etsa dengan larutan  $\text{HNO}_3$ , kemudian dilakukan pencucian dengan aquades dan selanjutnya dikeringkan. Kemudian dilakukan pengamatan dengan mikroskop dengan langkah-langkah pengujian sebagai berikut :

1. Siapkan benda uji yang telah melalui proses pengampelasan, pemolesan dan pengetsaan,
2. Letakkan benda uji dimeja penjepit,
3. Lihat pada mikroskop, pilih struktur mikro yang tampak jelas,
4. Lakukan pemotretan struktur mikro dengan pembesaran 200 kali dengan alat *Olympus Photo Micro Graphic System*,
5. Lakukan pembahasan pada hasil foto struktur mikro.

### 3. HASIL PENELITIAN

Hasil pengujian komposisi kimia limbah piston sesuai tabel 1.

Tabel 1. Nilia uji komposisi limbah piston

Unsur	Persentase
Al	85,290
Si	10,660
Fe	0,455
Cu	0,971
Mn	0,042
Mg	1,151
Cr	0,031
Ni	2,291

Komposisi utama limbah piston sesuai hasil pengujian yaitu 85,290 % Al dan 10,660% Si. Paduan tersebut termasuk paduan aluminium AA. 333.0 (ASM Volume 15: 1992). Paduan aluminium AA. 333.0 merupakan paduan aluminium yang digunakan untuk komponen-komponen otomotif seperti piston. Sebagai pembandingan, paduan aluminium AA. 333.0 mempunyai komposisi kimia dan sifat mekanis sebagai sesuai tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2. Komposisi paduan AA. 333.0

Paduan	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Al
AA.333.0	8-10	1,0	3-4	0,5	0,05-0,5	-	0,5	<0,1	BAL
AC8B	8,5-10,5	< 1	2,0-4,0	< 0,5	0,5 – 1,5	-	0,1<1	<0,5	BAL

Tabel 3. Sifat Mekanik Paduan AA. 333.0

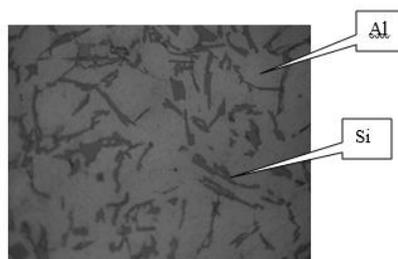
Alloy	Temper	Ultimate tensile strength		0.2% offset yield strength		Elongation in 50mm (2in),%	Hardness	
		MPa	Ksi	Mpa	Ksi		(HB)	(HRB)
333.0	T6	290	42	207	30	1,5	105	67

Hasil pengujian kekerasan limbah piston disajikan sesuai tabel 4.

Tabel 4. Nilai Kekerasan Limbah Piston

No	Nilai Kekerasan HRB
1	77,00
2	78,00
3	77,00
4	76,00
5	77,00
<b>Rata-rata</b>	<b>77,00</b>

Berdasarkan tabel 4 menunjukkan bahwa nilai kekerasan rata-rata pengujian limbah piston bekas diperoleh nilai 77 HRB. Jika dibandingkan dengan sifat mekanik paduan AA.333.0 sesuai dalam tabel 3, maka nilai kekerasan limbah piston lebih besar nilainya. Oleh karena itu, limbah piston layak untuk di daur ulang. Hasil uji kekerasan tersebut, kemudian juga di uji struktur mikro untuk mengetahui kebenaran komposisi limbaha piston. Hasil uji struktur mikro limbah piston dengan perbesaran 1000X sesuai gambar 3.



Gambar 3. Struktur mikro limbah piston

Berdasarkan uji struktur mikro nampak jelas bahwa komposisi piston dominan didominasi oleh Al dan kemudian di susul dengan Si.

#### 4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, maka dapat ditarik simpulan bahwa:

1. Unsur utama limbah piston yaitu Al dan Si dengan nilai 85,290 % Al dan 10,660% Si.
2. Nilai kekerasan rata-rata pengujian limbah piston bekas diperoleh nilai 77 HRB.
3. Limbah Piston yang diuji termasuk jenis termasuk jenis paduan AA.333.0.
4. Struktur mikro limbah piston didominasi oleh Aluminium dan Silikat.

#### 5. REFERENSI

- Budinski, (2001), *Engineering Materials Properties and Selection*, PHI New Delhi, pp. 517–536
- Choi, J.I., Park, H.J., Kim, J.H., Kim, S.K., (2005), *A Study on Manufacturing of Aluminium Automotive Piston by Thixoforging*, *International Journal Manufacture Technology*, Springer-Verlag London Ltd, pp. 32-40
- Cole, G S., Sherman, A. M., (1995), *Light Weight Materials for Automotive Applications*, *Material Characterization*, 35 (1) pp. 3–9
- Doehler, H., (1952), *Die Casting*, McGraw Hill Book Company, New York
- Duskiardi, Tjitro, S., (2002), *Pengaruh Tekanan dan Temperatur Die Proses Squeeze Casting terhadap Kekerasan dan Struktur Mikro pada Material Piston Komersial Lokal*, *Jurnal Teknik Mesin Vol. 4 No. 1 April 2002*, Universitas Kristen Petra Surabaya, pp. 1-5
- European Aluminium Association, 2011
- John, R. B., (1994), *feseco Non-Ferrous Foundryman's Handbook Eleventh edition Revised and edited*
- Kepolisian Republik Indonesia, (2005), *Jumlah Kendaraan Bermotor menurut Jenisnya, Indonesia 1987-2005*
- Noorsy, (2007), *Impor Aluminium akan Melonjak*, *Sinar Harapan*, 5542
- Nurhadi, (2010), *Studi Karakteristik Material Piston dan Pengembangan Prototipe Piston Berbasis Limbah Piston Bekas*, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Diponegoro, Semarang
- Park, J.O., Park, C.W., Kim, Y.H., (2001), *A Study on the Powder Forging of Aluminium Alloy Pistons*, *International Journal of the Korean of Precision Engineering*, Vol. 2 No. 4, pp. 69-74
- Smith, W.F., (1993), *Structure and Properties of Engineering Alloys*, 2nd Edition, McGraw-Hill inc.
- Surdia, T., Saito, S, (1992), *Pengetahuan Bahan Teknik. (edisi kedua)*, Jakarta: Pradnya Paramita
- Wjayanti, F., Irwan, D., (2014), *Analisis Pengaruh Bentuk Permukaan Piston Terhadap Kinerja Motor Bensin*, *Jurnal Imiah Teknik Mesin*, Vol. 2, No. 1, Februari 2014 , Universitas Islam 45, Bekasi