

## ANALISIS PENGARUH TEKNOLOGI PROSES PRODUKSI TERHADAP KARAKTERISTIK MATERIAL PISTON

Iwan Setyadi

Pusat Teknologi Industri Proses (PTIP) - BPPT  
Kawasan Puspiptek, Serpong 15314, Tangerang Selatan  
e-mail: [i1setyadi2810@gmail.com](mailto:i1setyadi2810@gmail.com)

Diterima: 1 Mei 2012      Diperbaiki: 24 Agustus 2012      Disetujui: 11 September 2012

### ABSTRAK

**ANALISIS PENGARUH TEKNOLOGI PROSES PRODUKSI TERHADAP KARAKTERISTIK MATERIAL PISTON.** Piston merupakan salah satu komponen utama pada motor bakar yang berfungsi sebagai komponen penekan udara masuk dan penerima tekanan hasil pembakaran pada ruang bakar. Komponen ini dirancang harus ringan dan tahan terhadap tekanan. Selain pemilihan jenis material yang tepat, pemilihan proses manufaktur piston akan mempengaruhi karakteristiknya, terutama sifat fisik dan sifat mekanis. Piston yang dijual dipasaran kebanyakan dibuat dengan proses pengecoran. Namun untuk peningkatan efisiensi juga telah dikembangkan piston yang dibuat dengan proses tempa. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengamati karakteristik kedua jenis piston tersebut melalui pengujian strukturmikro dan uji kekerasan. Hasil penelitian menunjukkan produk piston yang dibuat dengan proses tempa memiliki nilai kekerasan rata-rata yang lebih tinggi 14,9% dari 121,1 HV dibanding dengan piston yang dibuat dari proses pengecoran. Disamping itu strukturmikro piston tempa adalah homogen, sedangkan piston cor berupa *dendrite*.

**Kata kunci:** Piston, Pengecoran, Penempaan, Kekerasan, Strukturmikro

### ABSTRACT

**EFFECT ANALYSIS OF TECHNOLOGY PROCESS ON PISTON MATERIALS CHARACTERISTIC.** The piston is one of the major components of the motor fuel that serves as a component of the intake air pressure and the recipient of the combustion pressure in the combustion chamber. This component is designed to be lightweight and resistant to pressure. In addition to the selection of appropriate materials, selection of piston manufacturing process will affect its characteristics, especially the physical and mechanical properties. Piston sold in the market mostly made by casting process. However, to increase efficiency have also been developed pistons are made by forging process. The methodology used in this study was to observe the characteristics of both types of piston through microstructure testing and hardness testing. The results showed that piston products made with forging process has an average hardness values were 14.9% from 121.1 HV of higher than the pistons are made of the casting process. Besides forging piston microstructure is homogeneous, while the piston cast in the form of dendrites.

**Keywords:** Piston, Casting, Forging, Hardness, Microstructure

### PENDAHULUAN

Komponen merupakan bagian dari suatu sistem peralatan utuh yang memiliki fungsi masing-masing, sehingga peralatan tersebut dapat bekerja dengan baik.

Dalam aplikasinya banyak sekali jenis komponen, diantaranya komponen elektronika, komponen peralatan ringan dan peralatan berat maupun komponen otomotif.

Dalam memproduksi suatu komponen ada beberapa pertimbangan yang diperhatikan, mulai dari biaya terutama terkait dengan kuantitas, biaya produksi, usia pakai, lalu ketersediaan yang meliputi

jumlah pemesanan, pengiriman, ketersediaan bahan baku dan peralatan serta yang terakhir terkait spesifikasi yang berhubungan dengan sifat-sifat bahan [1,2]

Kualitas suatu komponen setidaknya ditentukan oleh tiga faktor, yaitu jenis bahan, proses manufaktur yang digunakan dan proses tambahan, diantaranya perlakuan panas dan permukaan.

Piston merupakan salah satu komponen utama pada motor bakar yang berfungsi sebagai komponen penekan udara masuk dan penerima tekanan hasil

pembakaran pada ruang bakar. Komponen ini dirancang harus ringan dan tahan terhadap tekanan.

Ada beberapa persyaratan dalam merancang piston, diantaranya: terkait dengan kekuatan yang memadai, gesekan yang rendah, kemampuan untuk menahan oli masuk ke dalam ruang bakar maupun menahan keluarnya gas, disipasi panas yang baik pada dinding silinder serta bahan yang ringan [3].

Selain pemilihan jenis material yang tepat, pemilihan proses manufaktur piston akan mempengaruhi karakteristiknya, terutama sifat fisik dan sifat mekanis

Piston yang dijual di pasaran kebanyakan dibuat dengan proses pengecoran. Sementara itu kualitas hasil pengecoran tergantung pada jenis pengecoran, dimana berhubungan dengan material yang dicor, berat, kualitas permukaan, porositas, kerumitan bentuk, akurasi dimensi dan ketebalan.

Ada beberapa jenis pengecoran berdasarkan cetakan yang digunakan, seperti *sand casting*, *shell casting*, *plaster casting*, *investment casting*, *permanent mold casting*, *die casting* dan *centrifugal casting* [4,5].

Untuk peningkatan kinerja dan kualitas piston telah dikembangkan juga piston yang dibuat dengan proses tempa yang berbahan baku aluminium paduan [1]. Pada proses tempa aliran logam dan struktur butir dapat dikontrol [2]. Bila dibandingkan dengan proses pembentukan lain seperti pengecoran, permesinan dan metalurgi serbuk, maka proses tempa memiliki keunggulan, dimana kekuatannya terarah, struktur utuh, kekuatan dampak yang baik dan keseragaman struktur dan komposisi [6].

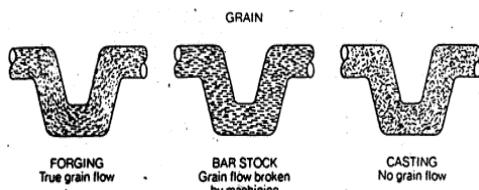
Dalam tulisan ini dibahas penelitian terkait karakteristik piston yang terbuat dari pengecoran (*casting*) dan penempaan (*forging*), terutama ditinjau dari aspek sifat mekanis (*hardness*) dan strukturmikro.

## METODE PERCOBAAN

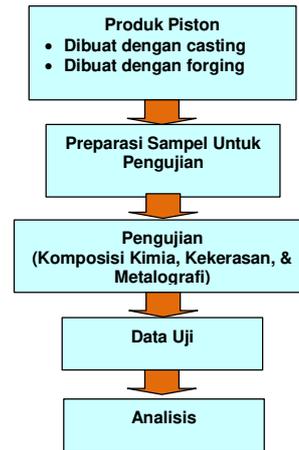
### Metode

Gambar 1 menunjukkan perbandingan struktur butir penempaan, *bar stock* dan pengecoran. Metodologi dan tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, dapat dilihat pada Gambar 2.

Dalam penelitian ada 2 produk piston yang diamati, yaitu produk piston hasil penempaan (*forging*)



Gambar 1. Perbandingan struktur butir penempaan, *bar stock* dan pengecoran [6].



Gambar 2. Skematik metodologi penelitian

dan produk piston hasil pengecoran (*casting*), seperti yang terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Untuk pengujian metalografi dan kekerasan, posisi pengukuran dilakukan di beberapa titik seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Hal ini dilakukan untuk mengetahui distribusi kekerasan dan strukturmikro yang terbentuk akibat proses produksi.

Metode yang digunakan untuk pengujian komposisi kimia adalah dengan menggunakan peralatan spektrometer emisi. Pengujian kekerasan dilakukan dengan menggunakan metoda uji kekerasan Vickers dengan cara menekankan indenter intan berbentuk keramik beralas bujur sangkar pada sampel dan kemudian diukur rata-rata panjang kedua diagonal tapak tekan sebagai dasar perhitungan nilai kekerasan.



Gambar 3. Sampel piston *forging* potongan memanjang



Gambar 4. Sampel piston *casting* potongan memanjang

Pengujian metalografi bahan aluminium dilakukan dengan menggunakan mikroskop optik pembesaran 500X. Bahan etsa yang digunakan adalah *Hydrofluoride Acid* (HF) 10 mL, *Nitride Acid* ( $\text{HNO}_3$ ) 1 mL, dan air 200 mL dalam waktu 10 detik hingga 30 detik.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Umumnya material standar yang digunakan untuk membuat piston adalah jenis *Aluminium Silicon Alloy* (seri 4032) yang mengacu pada AA (*Aluminium Association*) atau setara dengan A94032 (UNS), dengan komposisi kimia seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. [7] dan nilai kekerasannya sebesar  $\pm 137\text{HV}$ .

Jenis aluminium paduan seri 4XXX ini memang direkomendasikan untuk aplikasi komponen yang membutuhkan koefisien muai panas yang rendah seperti yang dibutuhkan untuk komponen piston baik dengan proses tempa maupun pengecoran. Dimana dalam hal ini peranan unsur Si sangat besar [2].

Adapun hasil uji komposisi kimia yang dilakukan terhadap kedua jenis piston dapat dilihat pada Tabel 2. Mengacu pada komposisi standar aluminium seri 4032, (Tabel 1) terlihat bahwa komposisi kimia piston hasil pengecoran (Tabel 2) hampir mendekati standar.

Bila dibandingkan dengan material piston tempa, maka komposisi antara piston hasil pengecoran dengan piston hasil tempa berbeda pada jumlah kandungan Cu, Mg dan Ni. Pada piston tempa, kandungan Cu lebih besar yaitu 4,182 % sedangkan piston cor 1,139 % namun pada piston tempa tidak ada kandungan Mg dan sedikit Ni.

Kandungan Cu yang besar berperan untuk meningkatkan kekuatan piston, namun untuk produk

**Tabel 1.** Komposisi standar aluminium seri 4032

Unsur	Kadar %
Si	11,0-13,5
Fe	1
Cu	0,5-1,3
Mg	0,8-1,3
Cr	0,1
Ni	0,5-1,3
Al	Sisa

**Tabel 2.** Hasil uji komposisi kimia piston *foging* dan piston cor

Unsur	Kadar % ( <i>Forging</i> )	Kadar % ( <i>Casting</i> )
Si	11.639	11.619
Fe	0.242	0.286
Cu	4.182	1.139
Mn	0.045	0.016
Mg	-	1.179
Zn	0.027	0.030
Ti	0.013	0.019
Cr	0.020	0.014
Ni	0.083	1.221
Pb	0.002	0.006
Sn	0.007	0.005
Al	83.18	84.47

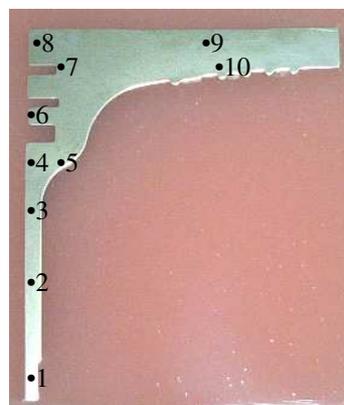
**Tabel 3.** Hasil uji kekerasan

No.	Nilai Kekerasan (HV)	
	<i>Forging</i>	<i>Casting</i>
1	143	118
2	143	124
3	140	123
4	139	117
5	135	120
6	137	120
7	137	118
8	143	119
9	142	127
10	133	125
rerata	139,2	121,1

tempa tidak boleh melebihi 5,6 %, karena dapat membentuk  $\text{CuAl}_2$  yang menjadikan rapuh. Pada material piston cor terdapat tambahan unsur Mg dan Ni yang cukup signifikan sebesar masing-masing 1,179 % dan 1,221 % yang bertujuan untuk meningkatkan kekuatan piston dan sebagai penghalus butir.

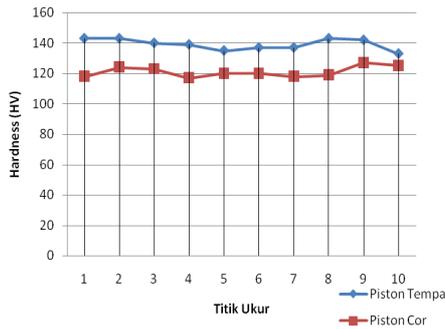
Hasil uji kekerasan produk piston yang dibuat dengan tempa memiliki nilai kekerasan rata-rata yang lebih tinggi sebesar 14,9 % dibanding produk piston cor, yaitu sebesar 139,2 HV (produk tempa) dan 121,1 HV (produk tempa). Disamping peranan komposisi aluminium paduan, peranan proses produksi khususnya dengan penempaan memberikan pengaruh dalam peningkatan kekerasan. Dalam proses tempa terjadi *strain hardening* (pengerasan regang), dimana bagian yang paling besar mengalami deformasi memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi.

Tabel 3 merupakan hasil uji kekerasan pada kedua jenis produk piston. Mengacu pada Gambar 5 dan Gambar 6 serta Tabel 3, diketahui bahwa untuk piston tempa kekerasan tertinggi terjadi pada bibir pinggir bawah piston (posisi 1 dan posisi 2) sebesar 143 HV, sedangkan yang terendah pada kepala/topi piston (posisi 10) sebesar 133 HV. Hal ini menunjukkan bahwa dalam proses penempaan piston daerah bibir pinggir bawah merupakan daerah yang paling tinggi derajat deformasinya dibandingkan pada bagian kepala (posisi 10).



**Gambar 5.** Titik ukur pada sampel piston tempa maupun piston cor.

Analisis Pengaruh Teknologi Proses Produksi Terhadap Karakteristik Material Piston (Iwan Setyadi)



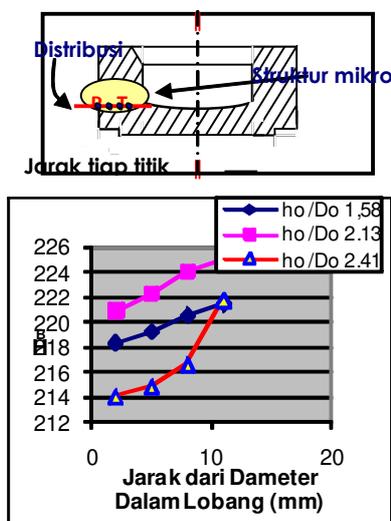
Gambar 6. Grafik perbandingan distribusi nilai kekerasan pada titik ukur piston tempa dan piston cor.

Fenomena ini selaras dengan penelitian terkait pembuatan gear berbahan baku baja karbon menengah S48C dengan proses tempa, dimana bagian yang paling besar derajat deformasinya, memiliki nilai kekerasan yang lebih tinggi [8]. Daerah menuju dinding luar atau diameter luar gear lebih tinggi kekerasannya dibandingkan bagian dinding dalam gear, seperti yang ditampilkan pada Gambar 7.

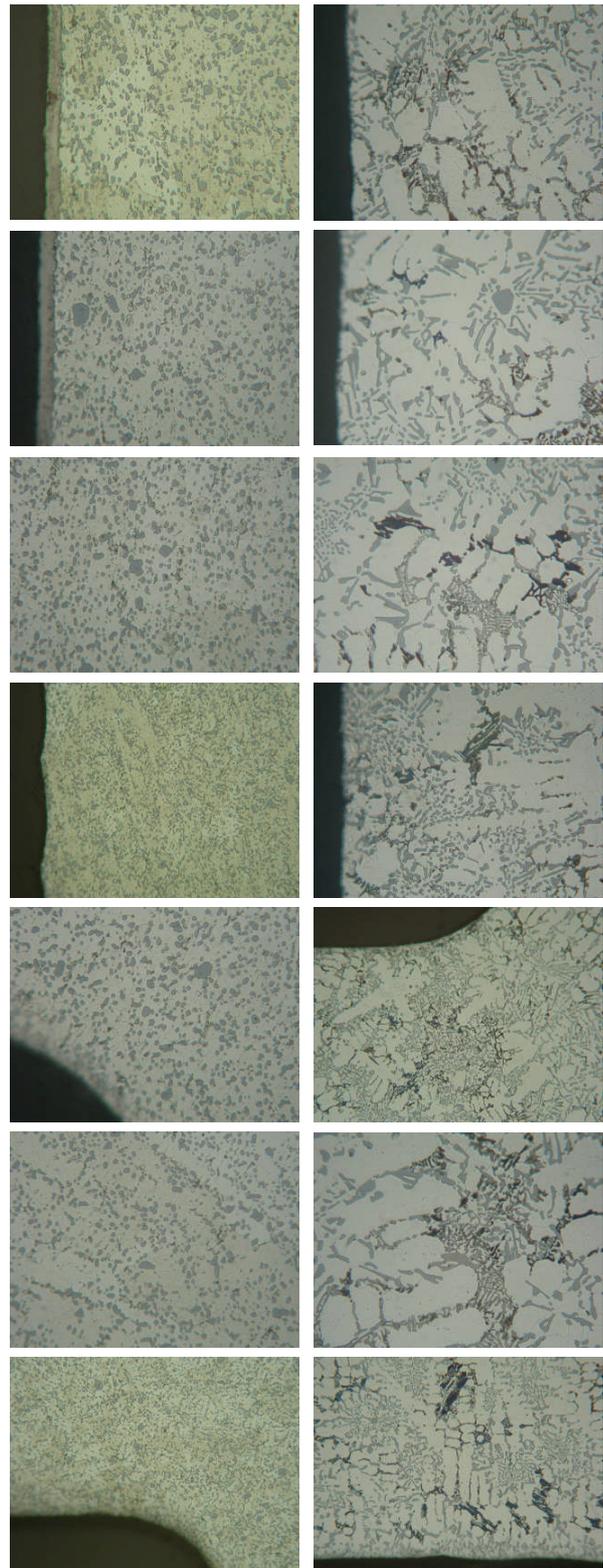
Diamati dari bentuk strukturmikro (Gambar 8), strukturmikro piston yang dihasilkan dengan proses tempa lebih homogen (*equi-axed*). Hal ini bisa terjadi, karena bahan baku alumunium paduan yang digunakan dalam keadaan padat (*wrought*) berbentuk *round bar* yang berstruktur homogen, yang kemudian dibentuk menjadi bentuk piston melalui gaya tekan yang bekerja pada cetakan.

Proses penempaan tersebut menghasilkan aliran butir (*grain flow*) yang terarah dan tidak ada kemungkinan gas yang terperangkap seperti pada proses pengecoran, sehingga kekuatan, keuletan dan ketahanan impak dan lelah yang dihasilkan lebih baik [6]. Hal ini yang menyebabkan pembuatan piston diarahkan pada proses penempaan.

Produk piston yang dibuat dengan pengecoran terlihat strukturnya berupa *dendrite* [5]. Struktur ini



Gambar 7. Posisi titik uji dan nilai kekerasan komponen gear berbahan S48C setelah tempa.



Gambar 8. Perbandingan foto strukturmikro piston yang dibuat dengan proses forging dan proses casting masing-masing pada posisi 1 hingga 10.

terbentuk pada saat pembekuan cairan aluminium yang diawali dari dari dinding cetakan dan bergerak maju ke arah logam yang lebih panas. Struktur *dendrite* cenderung getas, oleh karena itu ditambah dengan unsur

Mg dan Ni yang berfungsi sebagai penghalus butir guna meningkatkan kekuatan produk piston cor.

Gambar 8 berikut menunjukkan hasil foto strukturmikro piston tempa (*forging*) dan piston cor (*casting*) yang diambil dengan pembesaran 500 x, masing-masing pada posisi 1 hingga 10 sesuai yang ditunjukkan Gambar 6.

## KESIMPULAN

Material piston tempa maupun cor umumnya masuk kelompok paduan aluminium silikon (seri 4XXX), namun yang membedakan piston tempa dengan piston cor adalah kandungan Cu lebih besar yaitu 4,182% akan tetapi minimal kandungan Mg dan Ni dibanding piston cor.

Piston tempa memiliki kekerasan rata-rata lebih tinggi sebesar 14,9% dari 121,1 HV dibandingkan piston cor. Pada piston tempa terjadi deformasi yang menyebabkan adanya pengerasan regang. Piston tempa memiliki strukturmikro yang homogen (*equi-axed*), sedangkan piston cor memiliki struktur *dendrite* sehingga memiliki akan memiliki kekuatan yang lebih tinggi dibanding piston cor.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan pada Eko Riyanto yang banyak membantu terlaksananya penelitian ini.

## DAFTAR ACUAN

- [1]. WILLIAM D CALLISTER, JR, *Fundamental Science and Engineerin*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc, USA, (2005)
- [2]. PAT L. MANGONON, *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*, Prentice Hall, Inc., USA, (1999)
- [3]. V. L MALEEV, *Internal Combustion Engines*, Mcgraw-Hill Intern, (1982)
- [4]. E. PAUL DEGARMO, J.T. BLACK, RONALD A. KOHSER, *Materials And Process In Manufacturing*, Ninth Edition, John Wiley & Sons, Inc, (2003)
- [5]. SEROPE KALPAKJIAN, *Manufacturing Engineering & Technology*, Prentice Hall, (2001)
- [6]. BYRER, TG, *Forging Handbook*, Forging Industry Association, Cleveland, Ohio, (1985)
- [7]. JOSEP R DAVIS, *ASM Speciality Handbook : Aluminium & Aluminium Alloy*, ASM International, The Material Information Society, (1999)
- [8]. IWAN SETYADI, *Majalah Ilmiah Pengkajian Industri*, **16** (2002)