

## KARAKTERISASI BAHAN PADUAN Al-Si HASIL PROSES *SQUEEZE CASTING*

Supandi Suminta dan B.Bandriyana

Pusat Teknologi Bahan Industri Nuklir (PTBIN)-BATAN  
Kawasan Puspiptek Serpong 15314, Tangerang

### ABSTRAK

**KARAKTERISASI BAHAN PADUAN Al-Si HASIL PROSES *SQUEEZE CASTING*** Proses cor perah (*squeeze casting*) dilakukan untuk meningkatkan kualitas bahan paduan Al-Si yang banyak digunakan untuk komponen otomotif. Bahan paduan Al-Si dari suatu piston diambil sebagai sampel dan dilakukan daur ulang dengan proses cor perah dengan variasi tekanan 200 kgf/cm<sup>2</sup>, 300 kgf/cm<sup>2</sup> dan 400 kgf/cm<sup>2</sup>. Karakteristik bahan sebelum proses dibandingkan dengan hasil karakterisasi bahan hasil perlakuan cor perah untuk evaluasi perubahan sifat mekanik dan strukturmikro. Karakterisasi bahan dilakukan dengan pengujian komposisi, uji kekerasan, porositas, strukturmikro dan uji struktur kristal. Hasil pengujian menunjukkan terjadinya kenaikan kekerasan akibat perlakuan cor perah dari 40 HRA sebelum proses menjadi 46 HRA setelah proses dengan tekanan 300 kgf/cm<sup>2</sup>. Kenaikan kekerasan disertai dengan penurunan porositas dari 5 % menjadi 0,3 % dengan perubahan butir dalam strukturmikro yang semakin halus. Hasil pengujian struktur kristal untuk sampel sebelum dan sesudah perlakuan cor perah menunjukkan struktur kristal kubus pusat bidang dan tidak terjadi perubahan fasa.

**Kata kunci** : Paduan Al-Si, Karakterisasi, Cor perah

### ABSTRACT

**CHARACTERIZATION OF Al-Si ALLOY PRODUCED BY *SQUEEZE CASTING* PROCESS.** Squeeze casting process was performed on Al-Si alloy to improve the quality of alloy which is used in the automotive component. The sample, which is an Al-Si piston, was taken for recycling process using a squeeze casting method with the pressures of 200, 300 and 400 kgf/cm<sup>2</sup>. The characterization of sample before and after squeeze casting process was performed to evaluate the change of its mechanical properties and micro structures. The characterization was done by the test of composition, hardness, porosity, microscopic, and crystal structure. The result showed that the hardness of material increase from 40 HRA for the material before treatment to 46 HRA after treatment at the pressure of 300 kgf/cm<sup>2</sup>. The increase of hardness was followed by the decrease of porosity of material from 5 % to 0.3% with the decrease of grain size on the micro structure. Analyze results of crystal structure on both before and after squeeze casting treatment indicate that the structure are face center cubic and there are no change of phase.

**Key words** : Al-Si alloy, Characterization, Squeeze casting

### PENDAHULUAN

Logam paduan aluminium-silikon (Al-Si) merupakan bahan penting yang banyak digunakan dalam pembuatan komponen otomotif karena mempunyai kemampuan cor yang baik dan dimensi yang stabil terhadap perubahan suhu [1]. Bahan ini biasanya dipakai sebagai bahan pembuat piston, blok silinder, *velg* dan *disc brake*. Proses pembuatan komponen dengan pengecoran tradisional menggunakan metode *sand casting* dan *gravity casting* banyak dilakukan pada skala industri kecil yang pada umumnya menghasilkan kualitas yang kurang baik. Kekurangan kualitas ini biasanya ditunjukkan dengan adanya tingkat porositas yang tinggi dan strukturmikro yang tidak homogen dengan butiran yang besar.

Untuk meningkatkan kualitas hasil pengecoran khususnya untuk keperluan pembuatan komponen otomotif kelas tinggi dapat digunakan metode pengecoran *squeeze casting* (cor perah). Dalam proses cor perah ini, logam cair dibekukan dibawah tekanan eksternal yang relatif tinggi dengan proses pemadatan logam cair ke dalam cetakan menggunakan tekanan dengan tenaga hidrolis. Penekanan ini akan menghasilkan perpindahan panas yang cepat dan menghasilkan penurunan porositas. Kontak logam cair dengan permukaan *die* dan *punch* memungkinkan perpindahan panas yang cepat dan menghasilkan strukturmikro yang lebih padat dan homogen. Proses ini dapat menghasilkan produk dengan porositas rendah

dan struktur yang homogen. Kualitas hasil cor perah ini ditentukan oleh beberapa parameter, diantaranya adalah tekanan yang diberikan pada saat proses pengecoran.

Penelitian untuk cor perah dengan pengamatan melalui pengujian SEM menunjukkan adanya kenaikan kekerasan dan kerapatan produk hasil cor perah yang dipengaruhi oleh tekanan cor dan suhu die [2]. Penelitian untuk paduan *hipereutektik* dengan pengamatan uji termogram DTA juga menunjukkan adanya peningkatan kerapatan pada hasil cor perah [3].

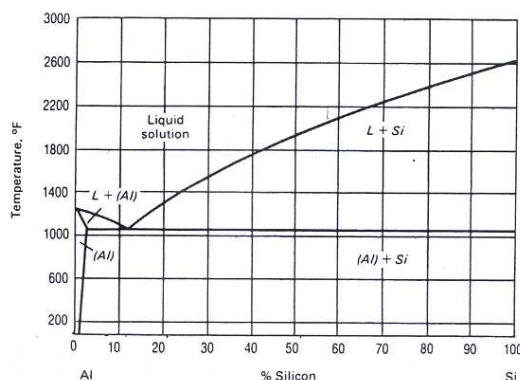
Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil cor perah dan pengaruh variabel tekanan pada proses cor perah terhadap hasil pengecoran dengan mengukur kekerasan, tingkat porositas, strukturmikro dan fasa yang ada dalam produk hasil cor perah. Karakterisasi hasil penelitian melalui pengamatan strukturmikro dengan mikroskop optik dan SEM-EDS tanpa melalui pengujian dengan XRD [2]. Peneliti sebelumnya telah melakukan penelitian yang sama yakni melalui pengamatan dengan XRD (*raw data*) tetapi tanpa menggunakan analisis Rietveld dan variasi tekanan [3]. Dengan pengembangan metode analisis dan memvariasi tekanan dalam penelitian ini selain dilakukan pengujian strukturmikro dan perhitungan tingkat porus dilakukan pula pengujian dan pengolahan hasil XRD dengan metode analisis Rietveld menggunakan program RIETAN untuk mengetahui jenis fasa yang terkandung dalam produk hasil cor perah.

Untuk keperluan ini dilakukan proses pengecoran cor perah dari bahan daur ulang piston dan hasil karakteristiknya dibandingkan dengan karakteristik bahan asal. Diharapkan dari penelitian ini bisa diketahui jenis fasa yang ada dalam produk hasil cor perah dan pengaruh variasi tekanan pada karakteristik hasil cor perah sehingga dapat diprediksikan besarnya tekanan untuk menghasilkan kualitas komponen otomotif yang baik dari bahan paduan Al-Si.

## TEORI

### Logam Paduan Al-Si

Distribusi fasa yang terjadi dalam logam paduan Al-Si dapat dilihat pada diagram fasa kesetimbangan



Gambar 1. Diagram Fasa paduan Al-Si

Al-Si seperti ditunjukkan dalam Gambar 1 [4]. Sistem ini merupakan suatu sistem eutektik sederhana dengan dua fasa padat stabil, Al dan Si. Kelarutan silikon dalam aluminium dapat mencapai 1,65 % atom dengan paduan *eutektik* pada kandungan Si sebesar 12 %.

Strukturmikro paduan Al-Si sangat tergantung pada jumlah kandungan Si dalam aluminium. Untuk paduan *hypo-eutektik* Al-Si terdiri dari fasa utama Al dengan fiber Si terdistribusi pada matriks Al, untuk paduan *hipereutektik* fasa Si terbentuk sebagai fasa utama partikel *equiaxed* dan fiber Si. Fasa silikon primer dari paduan *hipereutektik* menyebabkan paduan bersifat tahan aus, koefisien termal rendah dan fluiditas meningkat tetapi dapat mengurangi mampu permesinan dan meningkatkan porositasnya [4].

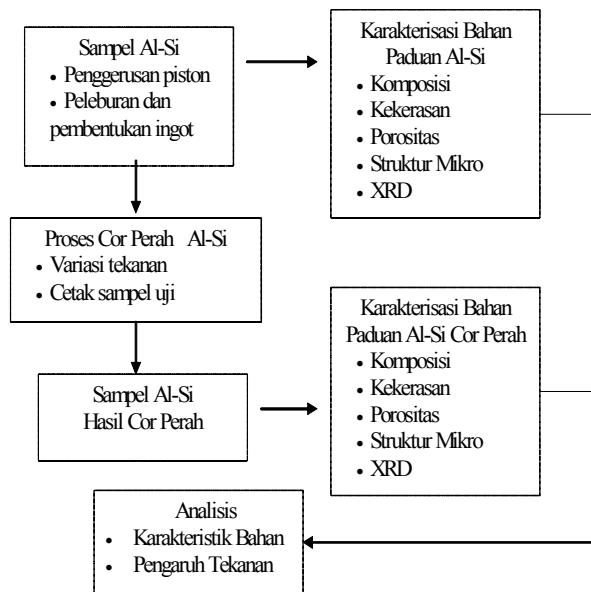
Porositas dalam paduan ini akan mengurangi kekuatan dan menurunkan kualitas benda tuang. Sumber penting yang menjadi penyebab porositas ini adalah timbulnya gas hidrogen yang berasal dari hasil reaksi antara logam cair dengan uap air yang berasal dari atmosfer. Banyaknya porositas yang terjadi pada pengecoran paduan aluminium tergantung pada banyaknya kandungan gas hidrogen yang terabsorpsi dan kecepatan pembekuan logam dalam cetakan [5].

### Parameter dalam Proses Cor Perah

Beberapa parameter akan mempengaruhi hasil dari proses pengecoran ini antara lain, volume cairan, suhu tuang, waktu tunggu, batas dan durasi penekanan dan kecepatan pengisian. Untuk keberhasilan proses diperlukan kontrol yang akurat pada waktu penuangan logam cair ke dalam rongga cetak. Untuk suhu proses ditentukan berdasarkan jenis paduan dan bentuk komponen biasanya diambil suhu tuang sekitar 100 °C hingga 550 °C diatas suhu *liquidus* [6]. Waktu tunggu akan bergantung pada bentuk sampel dan perlu diperhatikan untuk menghasilkan porositas yang baik akibat penyusutan. Rentang tekanan normal adalah 100 MPa hingga 400 MPa dengan durasi penekanan 30 detik hingga 120 detik tergantung bentuk komponen dan sifat mekanisnya.

### METODE PERCOBAAN

Secara garis besar metode dan urutan langkah dalam penelitian diuraikan dalam diagram alir pada Gambar 2. Penelitian dilakukan dengan memproses bahan sampel dari piston sepeda motor dengan cara memotong hingga menjadi bagian yang lebih kecil, selanjutnya dikikir hingga menjadi serbuk, kemudian dilakukan peleburan. Piston diambil dari produk komersial dengan paduan Al-Si *hypo-eutektik* dibuat berat tiap sampel 5 gram. Proses peleburan dilakukan dalam dapur *furnace* pada suhu 700 °C, dengan pengaduk kawat nikelin dan ditahan selama satu jam. Selanjutnya benda hasil peleburan dituang dalam *dies* untuk dibentuk *ingot* dan didinginkan



Gambar 2. Skema alur kegiatan penelitian

pada suhu ruang kemudian dilakukan karakterisasi. Proses pembuatan benda uji sampel cor perah dimulai dengan memasukkan *ingot* kedalam cawan tuang, memasukkan cawan dalam dapur dan menaikkan suhu sampai 700 °C selama 30 menit.

Selanjutnya logam cair dituangkan dalam *die* yang telah dipanaskan di dalam dapur. *Dies* dan *punch* yang berisi logam cair langsung dipindahkan ke peralatan *press* dalam waktu sekitar 60 detik. Penekanan dilakukan dengan variasi tekanan 200 kgf/cm<sup>2</sup>, 300 kgf/cm<sup>2</sup> dan 400 kgf/cm<sup>2</sup> selama 75 detik dan selanjutnya benda uji dilepaskan dari *die* untuk dikarakterisasi.

Selanjutnya sampel hasil pengecoran dikarakterisasi untuk dievaluasi dan dianalisis dengan membandingkan terhadap karakteristik bahan piston asli. Analisis dilakukan dengan membandingkan hasil uji karakterisasi antara sampel uji paduan Al-Si dengan sampel paduan hasil cor perah. Karakterisasi dilakukan meliputi : komposisi, kekerasan, penentuan porositas, dan strukturmikro.

Uji komposisi dilakukan dengan peralatan uji *AAS (Atomic Absorption Spectrometry)* untuk mengetahui unsur-unsur yang terkandung dalam paduan. Uji kekerasan dilakukan dengan standar uji kekerasan *Rockwell A (HRA)* dengan pembebanan 60 kg menggunakan indenter kerucut intan dengan sudut puncak 120 °.

Uji strukturmikro dilakukan dengan alat mikroskop optik Nikon FX-35DX untuk mendapatkan gambaran secara mikroskopis dari struktur yang ada pada aluminium. Uji struktur kristal dilakukan dengan difraktometer sinar-X (*XRD*) buatan Shimadzu Type ZD-610 untuk mengetahui data struktur dan fasa dari paduan. Penentuan porositas dilakukan dengan *true density* dan pengujian *apparent density* menggunakan piknometer.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Uji Komposisi dan Kekerasan

Hasil pengujian komposisi untuk bahan paduan dari piston ditunjukkan dalam Tabel 1 sedangkan data hasil uji kekerasan untuk bahan paduan kondisi awal tanpa perlakuan dan data kekerasan bahan paduan cor perah dengan berbagai tekanan disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 1. Komposisi material paduan Al-Si

Unsur	Al	Si	Fe	Ni	Cu	C	O
Kandungan, % berat	76,11	11,47	0,85	2,66	2,18	2,98	3,75

Tabel 2. Data hasil uji kekerasan

Deskripsi sampel	Kekerasan rata-rata, HRA
Tanpa perlakuan	40,4
Cor perah tekanan 200 kgf/cm <sup>2</sup>	45,3
Cor perah tekanan 300 kgf/cm <sup>2</sup>	46
Cor perah tekanan 400 kgf/cm <sup>2</sup>	43,5

Dari data hasil pengujian diperoleh data kekerasan sampel paduan Al-Si mengalami kenaikan akibat perlakuan cor perah dengan tekanan 200 kgf/cm<sup>2</sup> dan 300 kgf/cm<sup>2</sup>, dari sekitar 40 sampai dengan 46 HRA. Pada tekanan operasi pengecoran 400 kg/cm<sup>2</sup> besarnya kekerasan hasil cor kembali mengalami penurunan namun tetap diatas nilai kekerasan tanpa perlakuan. Peningkatan kekerasan ini terjadi akibat naiknya laju pendinginan yang terjadi dalam pembekuan akibat meningkatnya laju perpindahan panas dengan koefisien perpindahan panas pada tekanan 300 kgf/cm<sup>2</sup> mencapai nilai lebih besar dibandingkan pada tekanan 400 kgf/cm<sup>2</sup>. Kenaikan kekerasan ini dapat diamati pula dengan perubahan strukturmikro dengan butir yang semakin kecil.

Perubahan kekerasan dalam paduan Al-Si terutama adalah disebabkan oleh fenomena *grain refining* dan penurunan jumlah porositas seperti terlihat jelas dalam Gambar 4. Perubahan porositas dan densitas ini akibat perlakuan tekanan seperti terlihat pula pada Tabel 3, porositas mengecil dengan bentuk butir yang semakin halus. Dalam Gambar 4 strukturmikro teramati bahwa terbentuknya paduan Al-Si hasil cor perah lebih merata dibanding bahan piston tanpa cor perah.

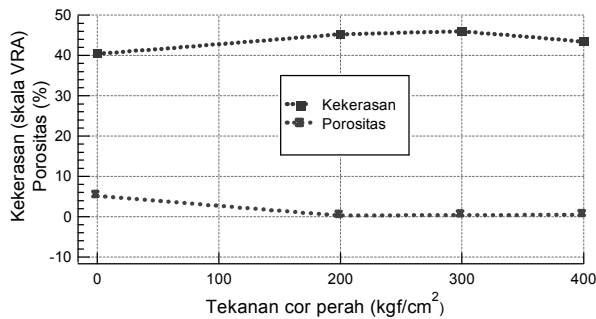
Akibat pengaruh tekanan terjadi kenaikan densitas dan penurunan porositas sehingga bahan semakin mampat dan kekerasan meningkat. Dari proses pengecoran, terjadi pengerasan paduan Al-Si dan perbaikan ukuran butir akibat perlakuan suhu dan pengaruh laju pendinginan coran ketika terjadi perpindahan panas antar muka bahan dengan cetakan [7].

### Uji dan Perhitungan Porositas

Data densitas dan porositas paduan yang dihitung berdasarkan data pengujian *apparent density* disajikan dalam Tabel 3. Untuk mengetahui pengaruh tekanan dalam proses pengecoran perah terhadap kekerasan dan porositas sampel hasil pengujian disajikan dalam grafik pada Gambar 3.

Tabel 3. Data densitas dan porositas bahan paduan

Deskripsi sampel	Densitas, g/cm <sup>3</sup>	Porositas, %
Tanpa perlakuan	2,5087	5,186
Cor perah tekanan 200 kgf/cm <sup>2</sup>	2,6470	0,31
Cor perah tekanan 300 kgf/cm <sup>2</sup>	2,6450	0,39
Cor perah tekanan 400 kgf/cm <sup>2</sup>	2,6433	0,45



Gambar 3. Pengaruh tekanan pada proses cor perah terhadap kekerasan dan porositas

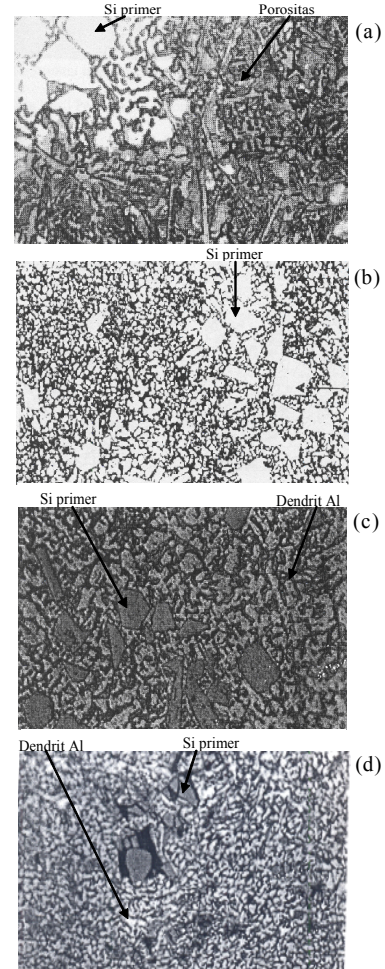
Porositas yang terjadi akibat cor perah menurun dari 5,186 % menjadi 0,45 % pada tekanan 400 kgf/cm<sup>2</sup> dan 0,31 % pada tekanan 200 kgf/cm<sup>2</sup>. Penurunan porositas akibat tekanan dalam cor perah ini diakibatkan oleh menurunnya tekanan hidrogen selama proses cor sehingga berada dibawah tekanan luar sehingga pembentukan nukleasi gelembung gas tidak terjadi dan hidrogen yang terjebak atau larut dalam cairan logam selama proses dipaksa keluar lewat ventilasi *die*. Perubahan porositas ini juga terjadi akibat perubahan strukturmikro akibat efek dari laju pendinginan karena laju pertumbuhan dan waktu solidifikasi dari material yang naik dengan cepat. Akibat cepatnya pendinginan dan daerah beku yang sempit maka pengeluaran hidrogen dari dendrit disekitar cairan tertahan dan hal ini akan menghasilkan penurunan porositas.

Hasil pengujian kekerasan sampel dari penelitian ini menunjukkan angka kekerasan tertinggi sekitar 46 HRA pada tekanan 300 kgf/cm<sup>2</sup>. Pada penelitian sebelumnya diperoleh angka kekerasan sebesar 107,5 BHN hingga 110 BHN (sekitar 50 HRA) untuk tekanan cor dari 70 sampai dengan 110 MPa [2].

Hasil kedua penelitian ini dilakukan dengan kondisi tekanan yang berbeda sehingga angka kekerasan menunjukkan berbeda pula. Namun demikian proses cor perah pada perlakuan tekanan yang bervariasi menunjukkan adanya kenaikan angka kekerasan.

### Uji Strukturmikro

Hasil uji pengamatan strukturmikro untuk sampel tanpa perlakuan dan beberapa sampel cor perah dengan variasi tekanan pengecoran ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Strukturmikro paduan Al-Si, (a) Al-Si kondisi awal, pembesaran 200 kali, (b) Al-Si cor perah tekanan 200 kg, pembesaran 200 kali, (c) Al-Si cor perah tekanan 300 kg, pembesaran 200 kali dan (d) Al-Si cor perah tekanan 400 kg, pembesaran 200 kali

Dari pengamatan gambar strukturmikro dapat dilihat adanya perubahan struktur setelah dilakukan proses cor perah pada logam paduan. Strukturmikro setelah proses cor perah mempunyai dendrit yang lebih halus dan ditandai dengan munculnya struktur silikon primer yang berbentuk partikel *equiaxed* yang dikelilingi matrik *eutektik*. Struktur ini membuat butir menjadi lebih halus dengan distribusi lebih merata yang menyebabkan peningkatan kekerasan dan kekuatan [8]. Pembentukan struktur ini terjadi akibat laju pendinginan yang meningkat dan menyebabkan terbentuknya kristal aluminium yang membungkus kristal silikon dan menghalangi pertumbuhan fasa silikon primer [6].

Berdasarkan diagram fasa pada Gambar 1, secara teoritis untuk paduan Al-Si *hipoeutektik* ini pembekuan

dimulai dengan membentuk dendrit primer Si (berdasarkan acuan ASTM *Specially hand book*) [6]. Setelah *dendrit* terlarut akan bergeser dan terbentuk fasa Al + Si. Dalam gambar strukturmikro pembekuan dan pembentukan fasa akhir untuk sampel dengan cor perah masih terbentuk fasa Al dan Si dengan butiran yang semakin halus.

## Pengujian XRD

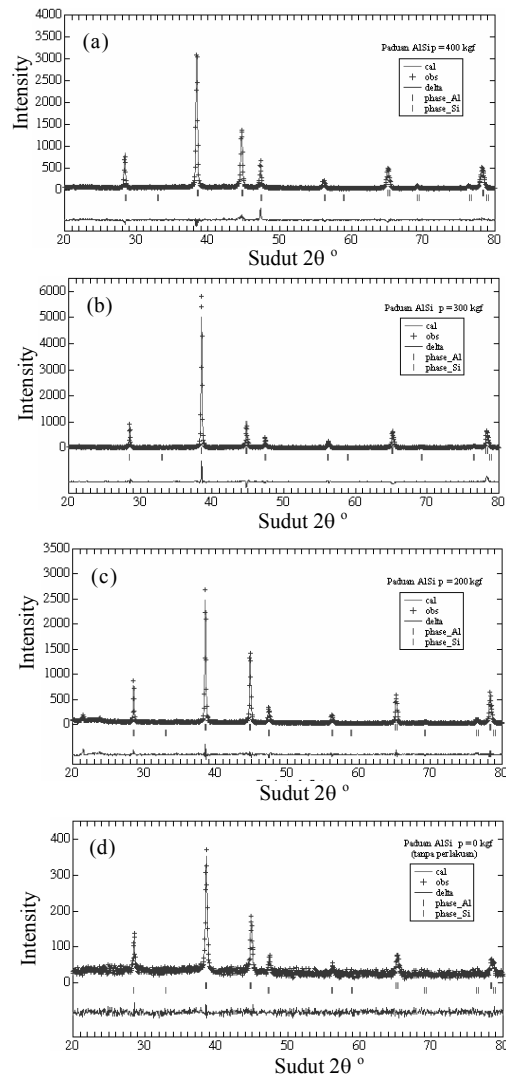
Hasil uji struktur kristal menggunakan uji XRD menunjukkan bahwa pola difraksi untuk sampel sebelum dan setelah perlakuan proses cor perah tidak mengalami perubahan posisi puncak, berarti tidak mengalami perubahan fasa yakni masing-masing fasa Al dan fasa Si. Sedangkan fasa Al-Si dalam proses pengecoran dengan tekanan dan suhu operasi ini tidak teramati, kemungkinannya jumlah fasa ini masih kecil. Fasa Al dan Si keduanya memiliki susunan kristal sistem kubus pusat muka, FCC (*Face Center Cubic*), tetapi memiliki grup ruang berbeda yakni fasa Al, grup ruang = Fm3m dan fasa Si, grup ruang = Fd3m. Perbedaan susunan terjadi juga pada nilai intensitas dan lebar pulsa yang menunjukkan terjadinya perubahan ukuran butir (strukturmikro) dan ukuran partikel. Hasil uji XRD untuk sampel sebelum dan sesudah mengalami perlakuan cor perah yang telah diolah dengan program RIETAN ditunjukkan dalam Gambar 5 [9].

Gambar 5 menunjukkan profil pola difraksi paduan Al-Si hasil cor perah pada berbagai tekanan cor yakni 400 kgf/cm<sup>2</sup> (Gambar 5(a)), 300 kgf/cm<sup>2</sup> (Gambar 5(b)) dan 200 kgf/cm<sup>2</sup> (Gambar 5(c)) dan tanpa tekanan cor perah = 0 kgf/cm<sup>2</sup> (Gambar 5(d)).

Bentuk profil pola difraksi ini menggambarkan kecocokan (*fitting*) intensitas difraktogram berkas sinar-X antara pengamatan dengan perhitungan hasil penghalusan RIETAN. Tanda (+) adalah data hasil pengamatan, garis malar (—) adalah data perhitungan, garis vertikal (|) dibawahnya adalah posisi puncak dan indeks fasa (indeks Miller) Al dan Si dan garis mendatar (—) dibawah garis vertikal adalah gambaran selisih pengamatan dengan perhitungan hasil penghalusan RIETAN. Harga bobot kualitas *fitting* atau disebut dengan RWP (*Residual Weight Pattern*).

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil karakterisasi dari sampel diperoleh hasil yang menunjukkan bahwa cor perah pada paduan Al-Si mampu meningkatkan kualitas hasil pengecoran. Peningkatan kualitas ditunjukkan dengan peningkatan kekerasan dari 40 HRA menjadi 46 HRA pada tekanan 300 kgf/cm<sup>2</sup>. Peningkatan kekerasan juga diikuti dengan penurunan porositas dari 5 % menjadi 0,3 % dengan butir strukturmikro yang semakin halus dan tidak terjadi perubahan fasa.



**Gambar 5.** Profil pola difraksi paduan Al-Si hasil penghalusan RIETAN, (a) tekanan cor = 400 kgf/cm<sup>2</sup>, (b) tekanan cor = 300 kgf/cm<sup>2</sup>, (c) tekanan cor = 200 kgf/cm<sup>2</sup> dan (d) kondisi awal, tekanan cor = 0 kgf/cm<sup>2</sup>

## DAFTAR ACUAN

- [1]. EL WAKIL. SHERIF D., *Process and Design for Manufacturing*, Ohio Metal Park, (1989)
- [2]. MOHAMMAD DANI, dkk, Optimasi Parameter Proses Produk Coran Al-Si dengan Teknik Squeeze Casting, *Prosiding Pertemuan Ilmiah IPTEK Bahan*, Puslitbang Iptek Bahan-BATAN, Puspiptek, (2002)
- [3]. ELMAN PANJAITAN dan WAGIYO H., *Jurnal Sains Materi Indonesia*, **3** (1) (2001)
- [4]. J.R DAVIS and Associates, *Aluminium and Aluminium Alloys*, ASM Specialty Hand Book, Ohio: Metal Park, (1994)
- [5]. American Foundrymen's Society, *Aluminium Casting Technology*, Des Platnes Illonis, (1986)
- [6]. DORCIC and S.K VARMA, *Squeeze Casting*, ASM Specially Hand Book, Ohio: Metal Park, (1988)

- [7]. WILLIAM D. CALLISTER, Jr, *Materials Science And Engineering An Introduction*, Third Edition, John Wiley & Sons, Inc (1994)
- [8]. VAN VLACK, *Ilmu dan Teknologi Bahan*, Terjemahan Srijati Djaprie, Jakarta-Erlangga, (1992)
- [9]. DWIMAYA ANTARINI, *Pengaruh Tekanan Proses Cor Perah Terhadap Kekerasan dan Strukturmikro Paduan AlSi Hasil Daur Ulang Bahan Piston*, FMIPA-UNJ, (2004)