

PENGARUH UNIAXIAL HOT PRESSING PADA SERBUK PADUAN AL-SI DENGAN PENAMBAHAN PARTIKEL C

Survo Darma¹⁾

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada¹⁾

Jl Grafika No. 24 Yogyakarta 55281

E-mail: sur_yadar_ma@yahoo.com.sg¹⁾

Abstract

Metal matrix composites can be produced by powder metallurgy (P/M). Product of P/M generally contains porosity that affects physical and mechanical properties. The aim of this research is to investigate the effect of temperature variation on compacted and graphite addition on the physical and mechanical properties of Al-Si/C composites.

The materials in this research were Al-Si as the matrix and graphite powder as the reinforcement. The content of reinforcement were 0 and 2.5 wt% of graphite. Powder was compacted 400 MPa at 150° C, 200° C and 250° C. The green bodies were sintered at 500 °C for 2 hours. Physical and mechanical properties of Al-Si/C composites were tested by Brinell hardness, optical microscopic and density.

Results of the research show that the addition of graphite up to 2.5 wt% and increasing compacted temperature increases the hardness and density of Al-Si/C composites. Hardness and density of a specimen containing 2.5 wt% graphite which is compacted 250° C are 49 VHN and 2.7 gr/cm³ respectively whereas a graphite-free specimen compacted at 250° C has hardness of 48 VHN and density of 2.68 gr/cm³.

Keywords : Uniaxial hot pressing, graphite, composite

PENDAHULUAN

Pengembangan material untuk aplikasi di bidang teknik secara berkelanjutan terus dikembangkan untuk memuaskan sifat-sifat yang lebih unggul. Aluminium merupakan jenis material yang banyak digunakan untuk berbagai peralatan ataupun konstruksi dan menduduki peringkat kedua setelah baja.

Komposit merupakan salah satu jenis material yang saat ini sedang dikembangkan penggunaannya untuk berbagai hal, seperti untuk pesawat terbang, kendaraan bermotor dan berbagai macam peralatan yang membutuhkan kekuatan yang tinggi tetapi ringan. Komposit adalah gabungan material yang terdiri dari dua atau lebih komponen material penyusun, baik secara mikro ataupun secara makro yang berbeda bentuk dan komposisi kimianya.

Komposit matrik logam (MMC) sekarang banyak dikembangkan karena memiliki banyak keunggulan dibanding dengan logam konvensional berupa ketahanan aus, tahan panas, kekuatan tinggi, ringan, dan memiliki redaman yang bagus. Komposit jenis ini dapat dibuat dengan metoda pengecoran ataupun dengan metoda metalurgi serbuk. Namun pada metoda pengecoran terdapat kendala utama yaitu sulitnya membuat komposit yang homogen, karena partikel penguat biasanya mengandung atau mengapung karena

perbedaan berat jenis. Sedangkan dengan metoda metalurgi serbuk dapat dilakukan dengan cara mencampurkan serbuk matrik logam dan penguat hingga diperoleh campuran yang homogen. Campuran tersebut kemudian dikompaksi dengan tekanan tertentu kemudian disinter dengan temperatur tertentu pula sehingga akan diperoleh ikatan partikel serbuk dan penguat.

Penelitian ini menggunakan paduan serbuk logam Al-Si dengan partikel penguat C karena logam paduan Al-Si dan C banyak tersedia dan mudah diperoleh di pasaran dalam bentuk serbuk dengan bentuk dan komposisi tertentu. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh *uniaxial hot pressing* pada serbuk paduan Al-Si yang diperkuat dengan partikel C. Variabel dalam penelitian adalah variasi suhu kompaksi 150 ° C, 200 ° C dan 250° C, dengan penambahan grafit konsentrasi 0; dan 2.5% berat dengan tekanan kompaksi 400 MPa, kemudian disinter pada suhu 500° C.

DASAR TEORI

Metallurgi serbuk adalah metode yang paling umum dalam fabrikasi pembentakan komposit matrik logam atau komposit matrik keramik. Serbuk logam sebagai matrik dan partikel keramik sebagai penguat dicampur dan diaduk hingga homogen, kemudian dikompaksi

dalam keadaan dingin atau panas untuk pembentukan *green compact*

Komposit matrik logam (MMC) yang sering digunakan sebagai matrik adalah paduan Fe, Al, Mg, Ti dan lainnya. Partikel penguat biasanya berupa bahan yang memiliki kekerasan sangat tinggi, karena dipengaruhi bahan keramik, sebagai contoh bahan penguat adalah ZrO_2 . Penambahan chrom dan grafit dapat meningkatkan kekuatan serta kekerasan pada Fe. Agar diperoleh struktur yang lebih homogen metalurgi serbuk cocok dipakai sebagai metode fabrikasi bahan komposit ini.

Penambahan grafit (C) dalam paduan Al bertujuan untuk *self lubrication* dan diharapkan akan terjadi matrik Al_4C_3 yang bersifat sangat keras, sehingga akan meningkatkan ketahanan aus paduan Al yang akan terjadi.

Metallurgi serbuk adalah salah satu teknik pembentukan logam dalam keadaan padat, logam dibuat menjadi serbuk halus kemudian serbuk logam ini dicampur dengan partikel lain seperti bahan keramik ataupun polimer. Proses pembentukannya dilakukan dengan cara penekanan (*compaction*) serbuk dalam suatu cetakan (*die*) sehingga terbentuk *green body*. Proses dilanjutkan dengan proses sinter, yaitu pemanasan dengan temperatur tertentu agar terjadi difusi antara partikel serbuk sehingga partikel akan menyatu dan terbentuk logam yang padat. Proses ini biasanya akan menghasilkan logam yang mempunyai porositas yang cukup tinggi dan untuk menguranginya dapat dilakukan dengan cara kompaksi pada keadaan panas (*hot compression*).

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, bahan dan alat penelitian terdiri atas:

1. Serbuk paduan Al-Si dan karbon
2. Die: uniaxial hot pressing
3. Universal Testing Machine
4. Furnace
5. Heater/catrige
6. Mikroskop Optik
7. Mikro hardness tester

Jalannya penelitian dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Mencampur serbuk paduan Al-Si dengan grafit pada komposisi 0 dan 2.5% berat (diusahakan untuk mendapatkan campuran homogen).
2. Memasukkan campuran tersebut kedalam cetakan (*die*) yang telah disiapkan untuk mendapatkan dimensi spesimen yang direncanakan.
3. Kompaksi menggunakan *uniaxial hot pressing* pada temperatur $150^\circ C$, $200^\circ C$ dan $250^\circ C$ dengan alat *Universal Testing Machine* pada tekanan kompaksi 400 MPa sehingga dihasilkan *green body*.
4. Melakukan proses sinter dengan menggunakan furnace pada suhu $500^\circ C$ selama 5 jam.

5. Sebagai perbandingan juga dibuat spesimen dari serbuk paduan Al-Si tanpa bahan penguat grafit lalu dikompaksi dan disinter pada parameter perlakuan yang sama.
6. Pengujian kekerasan menggunakan *hardness tester* dengan metode Brinnel, karena metode pengujian Brinnel cocok untuk pengujian material tidak homogen.
7. Spesimen diratakan dan dihaluskan permukaannya dengan ampas dan autosol lalu dicelup dengan larutan etas NaOH, selanjutnya diamati struktur mikronya untuk perbesaran dan tampilan terbaik dilakukan pemotretan menggunakan mikroskop optik untuk mendapatkan gambar struktur mikro.
8. Pengujian berat jenis, yaitu dengan mengukur berat sampel dan menghitung volumenya. Perbandingan kedua parameter tersebut merupakan volume jenis spesimen yang sedang diuji.

Selanjutnya dari hasil pengujian yang diperoleh dilakukan proses olah data menggunakan metode dan fungsi statistik dari hasil pengujian atas berbagai macam variasi spesimen. Pada pengujian pengamatan struktur mikro dan porositas dilakukan analisa perbandingan berbagai variasi spesimen dan dicari hubungan sebab akibatnya.

HASIL PENELITIAN

Komposisi paduan aluminium diuji dengan menggunakan spectrometer, dan dihasilkan komposisi paduan Al seperti Tabel 1.

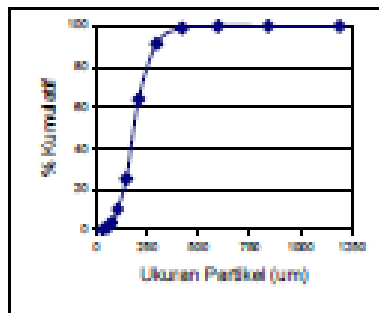
Dari hasil pengujian komposisi, unsur paduan yang dominan adalah Si sehingga dapat dikategorikan bahwa serbuk Al merupakan seri 4XXX, yaitu serbuk logam paduan Al-Si. Pembuatan serbuk dengan pengkiliran, sehingga serbuk Al terkontaminasi logam Fe. Penambahan tersebut terdeteksi dari hasil uji komposisi Tabel 1. Unsur Fe di dalam bahan baku awal adalah 0,1886% setelah dibuat serbuk menjadi 2,208%. Dari hasil pengujian komposisi, unsur paduan yang dominan adalah Si sehingga dapat dikategorikan bahwa serbuk Al merupakan seri 4XXX, yaitu serbuk logam paduan Al-Si. Pembuatan serbuk dengan pengkiliran, sehingga serbuk Al terkontaminasi logam Fe. Penambahan tersebut terdeteksi dari hasil uji komposisi Tabel 1. Unsur Fe di dalam bahan baku awal adalah 0,1886% setelah dibuat serbuk menjadi 2,208%. Distribusi dan bentuk serbuk aluminium dicari dengan metode sieving. Distribusi ukuran serbuk hasil pengujian yang diperoleh ditampilkan pada Gambar 1. Distribusi serbuk merupakan tipe Gaussian yaitu serbuk terdistribusi secara normal.

Menurut Randall (1994) metallurgi serbuk adalah teknik pembentukan logam dalam keadaan padat, bahan logam dibuat dalam bentuk serbuk dengan ukuran partikel yang halus, dengan ukuran lebih kecil dari 1 mm biasanya ukuran diameter 3 - 200 μm .

Tabel 1 Hasil uji komposisi paduan aluminium

No	Unsur	Bahan awal batangan % berat	Setelah menjadi serbuk % berat
1	Al	86.45	85.67
2	Si	9.43	9.32
3	Fe	1.8839	2.2077
4	Cu	0.6362	0.7525
5	Mn	0.1251	0.1086
6	Mg	0.0117	0.0131
7	Zn	1.1137	1.3249
8	Ti	0.0933	0.0846
9	Cr	0.0372	0.0292
10	Ni	0.0516	0.0564
11	Pb	0.1888	0.1844
12	Sa	0.0197	0.0197
13	Na	0.0154	0.0011
14	Ca	0.0087	0.0017
15	Sr	0.0007	0.0001
16	P	0.0195	0.2248

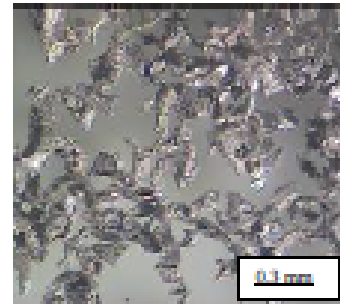
Berdasarkan kriteria tersebut maka dipilih serbuk dengan ukuran lebih kecil dari 210µm. Sedang jumlah kumulatif dari hasil proses pemrosesan adalah sebesar 64%, serbuk ini yang dipilih untuk digunakan sebagai bahan penelitian. Distribusi serbuk merupakan tipe Gaussian yaitu serbuk terdistribusi secara normal.



Gambar 1 Distribusi kumulatif serbuk hasil pengikiran (dengan dikikir)

Bentuk serbuk tergantung pada pembuatan atau cara mendapatkannya. Pada penelitian ini serbuk paduan aluminium didapat dari pengikiran bahan tersebut sehingga bentuk serbuk yang dihasilkan tidak beraturan (*irregular*) seperti terlihat pada Gambar 2.

Bentuk serbuk akan berpengaruh terhadap sifat fisik dan mekanik dari produk yang dihasilkan.



Gambar 2 Foto serbuk Al hasil pengikiran

Geram (1994) berpendapat bahwa serbuk logam yang diperoleh dengan proses pemrosesan akan menghasilkan bentuk yang tidak beraturan dan biasanya serbuk akan terkontaminasi.

Pengaruh peningkatan suhu kompaksi terhadap harga kekerasan spesimen ditunjukkan pada gambar 3. Pada suhu kompaksi 150° C, 200° C dan 250° C untuk spesimen tanpa penambahan grafit kekerasan masing-masing adalah 26, 47 dan 48 BHN dan 32, 48 dan 49 BHN untuk penambahan 2.5% berat partikel pengat grafit (C).

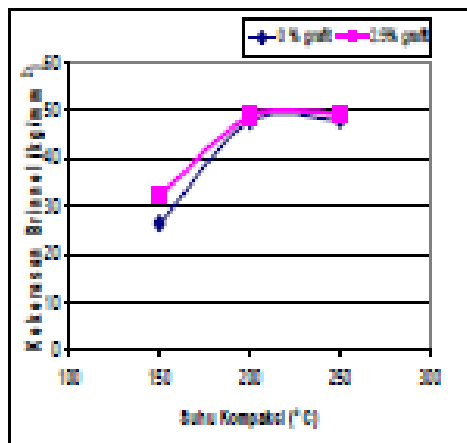
Penambahan grafit 2.5% berat kekerasannya meningkat dibanding spesimen tanpa penambahan grafit karena grafit dengan ukuran partikel lebih kecil (*fine powder*) bisa mengisi celah antar partikel (*rongga*) sehingga densitas semakin tinggi (Gambar 10). Kompaksi suhu optimal terjadi pada suhu 200° C karena dengan kompaksi 250° C tidak ada peningkatan kekerasan yang berarti.

Peningkatan kekerasan karena meningkatnya suhu kompaksi disebabkan penyatuan antar partikel lebih baik. Pengaruh tekanan dengan suhu semakin tinggi pada saat kompaksi akan menyebabkan partikel Al mengalami deformasi plastis, karena sifat logam Al yang ulet. Deformasi plastis yang besar maka akan mendorong celah antar partikel menjadi lebih kecil sehingga porositas yang ada di *green body* pun akan semakin kecil. Dengan semakin kecilnya porositas maka densitasnya meningkat, dengan meningkatnya densitas maka akan meningkatkan kekerasan.

Peningkatan kekerasan dapat juga dipengaruhi oleh adanya *strain hardening* (pengerasan regangan) dari partikel aluminium. Jika bahan dideformasi pada temperatur rendah (relatif terhadap titik cairnya), maka pengerasan terjadi mengikuti deformasinya (Surdia, 1991). Gejala ini dinamakan pengerasan regangan atau pengerasan kerja. Hubungan antara tegangan sebenarnya dan regangan sebenarnya didekati oleh persamaan $\sigma = Fe^n$ dengan n adalah koefisien ekspresi pengerasan, e adalah regangan sebenarnya. Tekanan kompaksi akan mempengaruhi besarnya deformasi (regangan, e), yaitu semakin besar tekanan kompaksi maka akan semakin besar pula deformasinya. Dari persamaan tersebut di atas menunjukkan dengan

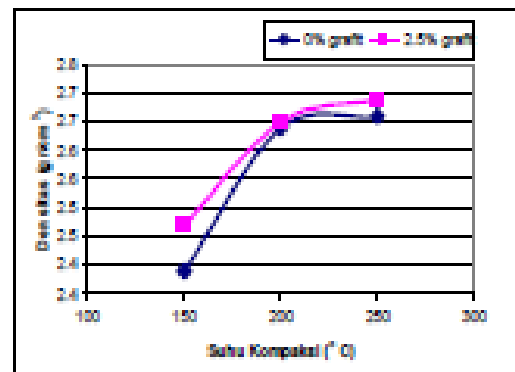
meningkatnya deformasi akan meningkatkan kekuatan dari spesimen tersebut.

Berat jenis komposit hasil pembentukan dengan metastirgi serbuk dipengaruhi oleh tekanan kompaksi dan komposisi penguat. Berat jenis komposit tergantung dari jumlah fraksi volume unsur penyusunnya. Berat jenis Al = 2,7 gr/cm³ sedangkan berat jenis grafit= 2,2 gr/cm³, dengan diketahuinya persentase berat grafit maka dapat ditentukan fraksi volumenya. Green body dan spesimen hasil sinter ditimbang untuk mencari berat spesimen.

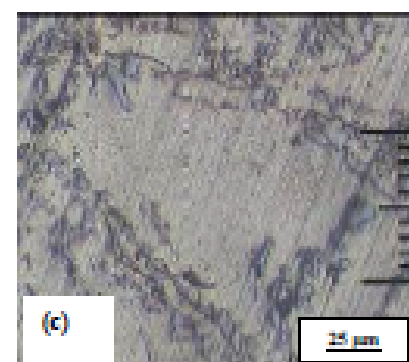
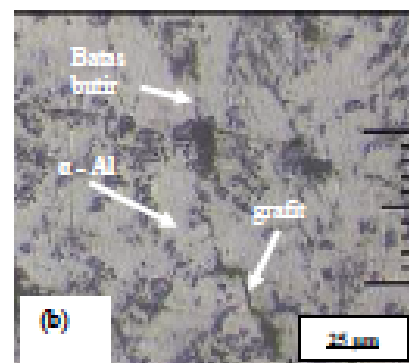
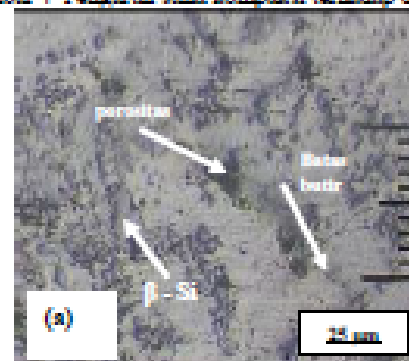


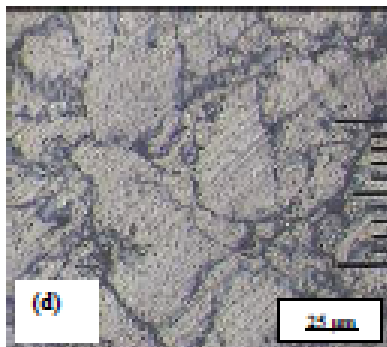
Gambar 3 Pengaruh suhu kompaksi terhadap kekuatan

Gambar 4 menunjukkan bahwa peningkatan suhu kompaksi sangat berpengaruh terhadap densitas spesimen, pada suhu kompaksi 150° C, 200° C dan 250° C untuk spesimen tanpa penambahan grafit densitas masing-masing 2,4, 2,6 dan 2,68 gr/cm³ serta 2,5, 2,6 dan 2,7 gr/cm³ untuk penambahan 2,5% berat partikel penguat grafit (C). Pengaruh suhu kompaksi akan meningkatkan kepadatan dari benda uji atau dengan kata lain densitasnya meningkat. Peningkatan densitas tersebut disebabkan oleh sifat logam aluminium sebagai matrik yang bersifat ulet dan memiliki sifat plastis. Adanya sifat plastis tersebut apabila ada beban yang bekerja pada bahan tersebut maka bahan akan berubah bentuk.

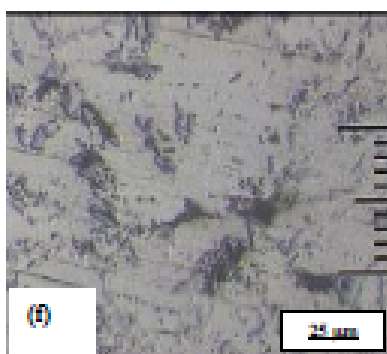
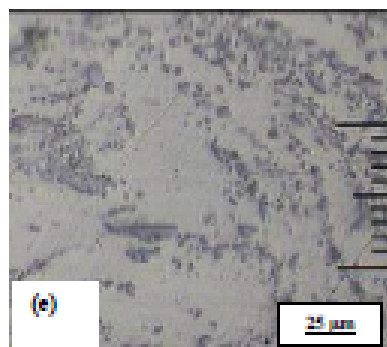


Gambar 4 Pengaruh suhu kompaksi terhadap densitas





Gambar 5 Foto struktur mikro komposit Al-Si/grafit produk hot pressing
(a). Suhu kompakasi 150° C 0% berat C,
(b). Suhu kompakasi 150° C 2.5% berat C,
(c). Suhu kompakasi 200° C 0% berat C,
(d). Suhu kompakasi 200° C 2.5% berat.



Gambar 5. Foto struktur mikro komposit Al-Si/grafit produk hot pressing (lanjutan)
(e). Suhu kompakasi 250°C 0% berat C,
(f). Suhu kompakasi 250°C 2.5% berat C

Perubahan bentuk karena tekanan akan mendorong serbuk-serbuk mengisi ruang kosong di dalam cetakan. Akan tetapi apabila suhu kompakasi terus ditingkatkan, pemampatan akan mencapai maksimal atau densitas benda uji sudah tidak dapat ditingkatkan lagi, karena kemampuan untuk mengisi ruang kosong sudah

terpenuhi karena adanya desakan antar partikel tersebut. Densitas relatif dari bahan tidak akan mencapai 100% jika dibandingkan dengan bahan tersebut apabila dicor, karena masih terdapat kekosongan atau rongga di antara partikel serbuk logam tersebut.

Densitas optimal terjadi pada spesimen dengan suhu kompakasi 200° C, karena peningkatan suhu kompakasi hingga 250° C hanya meningkatkan densitas relatif kecil. Spesimen dengan penambahan partikel grafit relatif lebih tinggi densitasnya, karena grafit mempunyai ukuran partikel yang lebih kecil (*fine powder*) sehingga bisa mengisi kekosongan antar partikel (rongga).

Hasil pengamatan struktur mikro spesimen *hot pressing* adalah seperti Gambar 5, terlihat bahwa penyatuan antar butir sudah terjadi dengan baik sehingga harga kekerasannya cukup tinggi (Gambar 3). Penyebaran grafit terlihat merata dan terletak di batas butir. Porositas terlihat sangat sedikit sehingga menyebabkan densitas cukup tinggi (Gambar 4).

Dari hasil pengamatan tersebut masih terlihat adanya porositas pada spesimen. Salah satu kelemahan metalurgi serbuk adalah adanya porositas pada produknya yang tidak dapat dihilangkan sama sekali.

KESIMPULAN

Setelah dilakukan pengujian dan analisa, dapat diambil kesimpulan :

1. Sifat fisik dan mekanik produk *hot pressing* sangat dipengaruhi oleh suhu kompakasi, kekerasan dan densitas tertinggi (49 VHN dan 2.7 g/cm³) diperoleh pada komposit dengan 2.5 % berat grafit dengan suhu kompakasi 250° C
2. Suhu kompakasi optimal pada komposit Al-Si/grafit adalah 200° C, karena peningkatan suhu setelah itu mempunyai efek peningkatan kekerasan dan densitas yang relatif kecil.
3. Penambahan grafit hingga 2.5 % berat dengan *sentral hot pressing* menaikkan densitas dan kekerasan komposit Al-Si/grafit.
4. Penyebaran grafit merata yang terletak di batas butir.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arık, H dan Cengiz, B., 2003, "Investigation of Influence of Pressing Pressure and Sintering Temperature on the Mechanical Properties of Al-Al₂O₃ Composite Materials", Turkish Journal Eng. Env. Sci, Tubitak.
- [2] Barvoun, M.W, 1997, "Fundamental of Ceramic", Mc Graw-Hill Book Co, New York.
- [3] German, R. M., 1984, " Powder Metallurgy Science", Metal Powder industries Federation, Princeton New Jersey.
- [4] Gibson, R. F. 1994, " Principles of Composite Material Mechanics" ,Mc Graw-Hill Book Co New York.

- [5] Morano, M.F., Urretaviscaya, G., Oliver., Gonzalez, C. J. R., 2000., " Hot pressing densification of Al (Al-Cu) short Al_2O_3 fibre mixture", Volume 43, Number 1, pp. 83-88(6)
- [6] Setyana, L.D dan Wildan, M.W., 2004., " Pengaruh Tekanan Kompaksi Terhadap Kekerasan dan Densitas Komposit Al-Grafit", Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri., Hal. V-50
- [7] Smith, W.F., 1996, " Principles of Materials Science And Engineering", Mc Graw - Hill Inc, New York.
- [8] Suresh, S and Mortensen, A., 1993 , "Fundamentals of Metal matrixComposites", Butterworth Heinemann, Stoneham London.
- [5] Zulfa, A., Atkinson, H.V., Jones, H dan King, S., 2004., "Effect of hot isostatic pressing on cast A357 aluminium alloy with and without SiC Particle reinforcement", Journal of Materials Science., page: 4305-4310