



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	Hal i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
DAFTAR NOTASI	xix
INTISARI	xx
<i>ABSTRACT</i>	Xxi
BAB I    PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Keaslian Penelitian	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Faedah	5
BAB II    TINJAUAN PUSTAKA	7
BAB III    LANDASAN TEORI	32
3.1 Komposit	32
3.2 <i>Metal Matrix Composites</i>	33
3.2.1 Homogenasi campuran bahan	35
3.2.2 Kompaksi	36
3.2.3 Sinter	36



3.2.3.1 Tahapan <i>solid state sintering</i> (SSS)	37
3.2.3.2 <i>Liquid phase sintering</i> (LPS)	38
3.3 Ketahanan Aus	39
3.4 Kekuatan <i>Bending</i>	40
3.5 Porositas	41
3.6 Kekerasan	43
3.7 Hipotesis	44
<b>BAB IV MATERIAL DAN METODE PENELITIAN</b>	<b>46</b>
4.1 Bahan Penelitian	46
4.2 Alat Penelitian	47
4.3 Jalannya Penelitian	58
4.3.1 Abu terbang	58
4.3.2 Serbuk aluminium	59
4.3.3 Diagram alir penelitian	59
4.3.4 Pencampuran bahan baku	61
4.3.5 Pembuatan <i>green body</i>	61
4.3.6 Sinter	64
4.3.7 Pengujian mekanis	66
4.3.8 Variabel penelitian	67
4.3.9 Analisis hasil	68
<b>BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>69</b>
5.1 Serbuk Aluminium ( <i>Aluminium Powder</i> )	69
5.2 Abu Terbang	72
5.3 <i>Aluminium Matrix Composite</i> (AMC) Dikompaksi Secara Uniaksial Dan Disinter Tanpa Tekanan	75
5.4 <i>Aluminium Matrix Composite</i> Dikompaksi Secara Isostatik Dan Disinter Tanpa Tekanan	84



5.5	<i>Aluminium Matrix Composite</i> Disinter Dengan Tekanan Isostatik (HIP)	94
5.6	<i>Aluminum Matrix Composite (AMC)</i> Dibuat Dengan Cara Ekstrusi	102
5.7	Pengaruh Cara Pembuatan Terhadap Perbandingan Sifat mekanik AMC	107
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	113
6.1	Kesimpulan	113
6.2	Saran	114
	DAFTAR PUSTAKA	115
	LAMPIRAN I DAPUR SINTER BERTEKANAN	121
	LAMPIRAN II DIES DAN PENCETAK AMC	126



## DAFTAR GAMBAR

	Hal.
Gambar 2.1 Hasil uji keausan MMC yang dibuat dari Al 2024 sebagai matrik dan whisker SiC sebagai penguat. a. Hubungan kehilangan volume terhadap jarak luncur, b. Hubungan laju keausan terhadap fraksi volume penguat (Miyajima dan Iwai, 2003)	8
Gambar 2.2 Hubungan volume hilang terhadap fraksi berat alumina pada MMC yang dibuat dari Al 2024 sebagai matrik dan alumina sebagai penguat (Kok, 2005)	9
Gambar 2.3 a. Hubungan kekerasan terhadap fraksi berat penguat, b. hubungan porositas terhadap fraksi berat penguat pada komposit dari bahan Al 2024 sebagai matrik dan SiC sebagai penguat.(Sahin, 2003)	11
Gambar 2.4 Hasil pengujian densitas, laju keausan, kekerasan dan kekuatan tarik pada MMC yang dibuat dari aluminium LM6 sebagai matrik dan alumina sebagai penguat (Sevik dan Kurnaz, 2005)	13
Gambar 2.5 Hubungan laju keausan terhadap gaya tekan pada MMC dari bahan Al6160 sebagai matrik dan alumina sebagai penguat (Al-Qutub dkk, 2005)	13
Gambar 2.6 Hasil uji kekerasan, kekuatan tarik dan keausan pada MMC dari bahan Al+Mg sebagai matrik dan alumina sebagai penguat (Ahlatci dkk, 2005)	15
Gambar 2.7 Hasil uji kekuatan bending (Demir dan Altinkok, 2004)	17
Gambar 2.8 Hasil pengujian tarik pada spesimen MMC dari bahan Al 6062 sebagai matrik dan boron karbida sebagai penguat(Zhang, 2004)	18
Gambar 2.9 Hubungan kekuatan tarik terhadap temperatur pengujian pada MMC dari bahan aluminium sebagai matrik dan alumina sebagai penguat(Mazen, 1998)	19
Gambar 2.10 Hasil pengujian tarik MMC dari bahan Al 6061 dengan fraksi berat penguat 20% untuk berbagai orientasi whisker (Geng dkk, 2004)	20



Gambar 2.11	Hasil pengujian tarik pada komposit Al-Li / SiC 15% vol. (Gonzalez dkk, 2004)	21
Gambar 2.12	Hubungan laju keausan dan beban pada komposit Al 2124 / SiC (Izciler dan Muratoglu, 2002)	22
Gambar 2.13	Hasil uji kekerasan dan keausan pada bahan komposit aluminium murni/ $Al_2O_3 + Al_4C_3$ (Abouelmagd, 2004)	24
Gambar 2.14	Hubungan keausan dan jarak geser pada bahan komposit Al 6061/ $TiO_2$ (Ramesh dkk., 2004)	25
Gambar 2.15	a. Struktur mikro MMC aluminium dengan penguat abu terbang, b. hubungan laju keausan terhadap besar beban (Rohatgi, 1997)	26
Gambar 2.16	Hasil pengujian densitas dan kekerasan pada komposit aluminium/abu terbang (Guo dkk, 1997)	27
Gambar 2.17	Perbandingan laju keausan spesifik pada bahan aluminium paduan dan komposit Al-Si/5% abu terbang (Rohatgi dan Guo, 1997)	28
Gambar 2.18	Hubungan densitas dan kekerasan terhadap fraksi berat abu terbang pada komposit Al-Cu/abu terbang (Mahendra dan Radhakrishna, 2007)	29
Gambar 2.19	Hubungan kekuatan tarik terhadap fraksi berat abu terbang pada komposit Al-Cu/abu terbang (Mahendra dan Radhakrishna, 2007)	29
Gambar 2.20	Hubungan laju keausan terhadap fraksi volume abu terbang pada bahan komposit A356/abu terbang (Sudarshan dan Surappa, 2008)	30
Gambar 3.1	Mekanisme transport selama proses sintering	38
Gambar 3.2	Skema uji <i>bending</i> ( <i>four point bending</i> )	40
Gambar 3.3	Bekas injakan penumbuk intan pada uji kekerasan Vickers	44
Gambar 4.1	Timbangan digital SATORIUS tipe LC1201S	47



Gambar 4.2	Oven MEMMERT tipe TV30U	48
Gambar 4.3	Penyaring	48
Gambar 4.4	Mixer STUART seri 5650	49
Gambar 4.5	Alat pencetak benda uji	49
Gambar 4.6	Silinder penekan isostatik	50
Gambar 4.7	Dapur sintering tanpa tekanan CARBOLITE seri 10/96/2771	51
Gambar 4.8	Dapur sintering bertekanan	51
Gambar 4.9	<i>Universal Testing Machine</i> tipe AMU-5-DE	52
Gambar 4.10	Pengarah uji <i>four point bending</i>	53
Gambar 4.11	Alat uji keausan, (a). Alat uji keausan yang terpasang pada mesin frais sebagai penggerak, (b). Skema alat uji keausan	53
Gambar 4.12	Mesin uji kekerasan Vickers KARL FRANK tipe 38505	54
Gambar 4.13	Alat ekstrusi, (a). Die, (b). Piston penekan	55
Gambar 4.14	Mikroskop optik OLYMPUS	56
Gambar 4.15	<i>Scanning electron microscope</i> Seri JEOL JSM-6360LA	56
Gambar 4.16	Hidrolis Penekan	57
Gambar 4.17	Elemen Pemanas	57
Gambar 4.18	Alat kendali temperatur dan waktu	58
Gambar 4.19	Diagram Alir Penelitian	60
Gambar 4.20	Diagram alir perlakuan awal bahan baku AMC	62
Gambar 4.21	Diagram Alir Proses Kompaksi	63



Gambar 4.22	Spesimen uji keausan, (a) foto spesimen uji keausan, (b) gambar spesimen uji keausan	63
Gambar 4.23	Spesimen uji bending, (a) gambar spesimen uji bending, (b) foto spesimen uji bending	64
Gambar 4.24	Diagram alir proses sinter	65
Gambar 4.25	Dagram alir pengujian mekanis dan pengamatan struktur mikro	67
Gambar 5.1	Foto SEM serbuk aluminium	69
Gambar 5.2	Hasil plot EDX serbuk aluminium	70
Gambar 5.3	Foto SEM abu terbang sebelum dikalsinasi	72
Gambar 5.4	Foto SEM abu terbang setelah dikalsinasi	73
Gambar 5.5	Plot hasil EDX abu terbang setelah kalsinasi	74
Gambar 5.6	Pengaruh frasi berat abu terbang terhadap porositas AMC kompaksi uniaksial	78
Gambar 5.7	Ilustrasi campuran dua jenis serbuk yang berbeda ukuran butir (partikel) (a) Fraksi partikel diameter kecil terlalu rendah, (b) fraksi partikel diameter kecil tepat, (c) fraksi partikel diameter kecil terlalu tinggi	79
Gambar 5.8	Struktur mikro AMC yang disinter pada 550°C dengan variasi fraksi berat abu terbang (a) 2.5%, (b) 5%, (c) 7.5%, dan (d) 10%	79
Gambar 5.9	Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% dan variasi temperatur sinter (a) 525 °C, (b) 550 °C, (c) 575 °C dan (d) 600 °C	80
Gambar 5.10	(a)Penampang patah AMC dibuat dengan kompaksi uniaksial dan sinter tanpa tekanan. (b) Spesimen setelah uji bending	80



Gambar 5.11	(a) Interaksi antara matrik dan abu terbang AMC, fraksi berat abu terbang 5%, disinter 575°C, (b) Interaksi antara matrik dan abu terbang AMC, fraksi berat abu terbang 10%, disinter 575°C, (c) hasil uji aus AMC, fraksi berat abu terbang 5%, disinter 550°C, (d) hasil uji aus AMC, fraksi berat abu terbang 5%, disinter 500°C	81
Gambar 5.12	Kekuatan bending AMC kompaksi uniaksial sebagai fungsi fraksi berat abu terbang dan berbagai temperatur sinter	82
Gambar 5.13	Kekerasan Vickers AMC kompaksi uniaksial dengan variasi temperatur sinter dan fraksi berat abu terbang	82
Gambar 5.14	Laju keausan AMC kompaksi uniaksial dengan variasi temperatur sinter dan fraksi berat abu terbang	83
Gambar 5.15	Pengaruh fraksi berat abu terbang terhadap porositas AMC kompaksi isostatik	87
Gambar 5.16	Struktur mikro AMC kompaksi isostatik yang disinter pada 550°C dengan variasi fraksi berat abu terbang (a) 2.5%, (b) 5%, (c) 7.5%, dan (d) 10%	89
Gambar 5.17	Struktur mikro AMC kompaksi isostatik dengan fraksi berat abu terbang 5% dan variasi temperatur sinter (a) 525°C, (b) 550°C, (c) 575°C dan (d) 600°C	90
Gambar 5.18	Penampang patah AMC dibuat dengan kompaksi isostatik dan sinter tanpa tekanan	91
Gambar 5.19	Interaksi antara partikel abu terbang dan matrik AMC dikompaksi isostatik fraksi berat 5%, (a), disinter 525°C, (b), disinter 575°C	91
Gambar 5.20	Kekuatan bending AMC kompaksi isostatik sebagai fungsi fraksi berat abu terbang dan berbagai temperatur sinter	92
Gambar 5.21	Kekerasan Vickers AMC kompaksi isostatik dengan variasi temperatur sinter dan fraksi berat abu terbang	92



Gambar 5.22	Laju keausan AMC kompaksi isostatik dengan variasi temperatur sinter dan fraksi berat abu terbang	93
Gambar 5.23	Pengaruh tekanan kompaksi isostatik terhadap kekuatan bending AMC disinter tanpa tekanan	93
Gambar 5.24	Ilustrasi deformasi pada batas butir serbuk aluminium akibat tekanan kompaksi	94
Gambar 5.25	Porositas AMC dengan fraksi berat 5% disinter dengan tekanan (HIP)	95
Gambar 5.26	Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% , disinter secara HIP, temperatur sinter (a) 525 °C, (b) 550 °C dan (c) 575 °C	95
Gambar 5.27	Penampang patah AMC disinter secara HIP	97
Gambar 5.28	Interaksi antara partikel abu terbang dan matrik AMC yang dibuat secara HIP, (a), temperatur HIP 525°C, (b), temperatur HIP 550°C	97
Gambar 5.29	Kekuatan bending AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% disinter bertekanan isostatik	98
Gambar 5.30	Kekerasan AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% disinter bertekanan isostatik	98
Gambar 5.31	Laju keausan AMC disinter bertekanan isostatik	99
Gambar 5.32	Perbandingan porositas AMC fraksi berat abu terbang 5% yang dibuat dengan berbagai cara	99
Gambar 5.33	Perbandingan kekuatan bending AMC fraksi berat abu terbang 5% yang dibuat dengan berbagai cara	100
Gambar 5.34	Perbandingan kekerasan AMC fraksi berat abu terbang 5% yang dibuat dengan berbagai cara	100
Gambar 5.35	Perbandingan laju keausan AMC fraksi berat abu terbang 5% yang dibuat dengan berbagai cara	101



Gambar 5.36	Hubungan porositas dan fraksi berat abu terbang AMC yang dibuat secara ekstrusi panas pada temperatur 600°C	103
Gambar 5.37	Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 12,5% dan dibuat secara ekstrusi panas pada temperatur 600°C	103
Gambar 5.38	Foto patahan AMC yang dibuat secara ekstrusi panas, (a). Pengampang patah AMC dengan fraksi berat 12,5%, (b). Pengampang patah AMC dengan fraksi berat 15%, (c). Foto dari samping patahan AMC	104
Gambar 5.39	Interaksi antara patikel abu terbang dan matrik AMC yang dibuat dengan proses ekstrusi, (a), antar partikel dilapisi matrik, (b), antar partikel berdekatan tidak dilapisi matrik	105
Gambar 5.40	Hubungan kekuatan bending dan fraksi berat abu terbang AMC dibuat dengan cara ekstrusi panas pada temperatur 600°C	105
Gambar 5.41	Kekerasan AMC dibuat dengan cara ekstrusi pada temperatur 600°C	106
Gambar 5.42	Hubungan laju keausan dan fraksi berat abu terbang AMC dibuat dengan cara ekstrusi panas pada temperatur 600°C	106
Gambar 5.43	Pengaruh porositas terhadap kekuatan bending AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk	107
Gambar 5.44	Pengaruh porositas terhadap kekerasan Vickers AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk	109
Gambar 5.45	Pengaruh porositas terhadap laju keausan AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% yang dibuat dengan metode metalurgi serbuk	109
Gambar 5.46	Perbandingan porositas terendah AMC yang dibuat dengan metode ekstrusi panas dan metalurgi serbuk	110
Gambar 5.47	Perbandingan kekerasan tertinggi AMC yang dibuat dengan metode ekstrusi panas dan metalurgi serbuk	111



Gambar 5.48	Perbandingan kekuatan bending tertinggi AMC yang dibuat dengan metode ekstrusi panas dan metalurgi serbuk	111
Gambar 5.49	Perbandingan laju keausan terendah AMC yang dibuat dengan metode ekstrusi panas dan metalurgi serbuk	112
Gambar L1.1	Gaya tekan hidrolis sebagai fungsi tekanan minyak hidrolis	124
Gambar L1.2	Tekanan sinter sebagai fungsi gaya tekan hidrolis	125
Gambar L2.1	Dies untuk pembuatan bushing	127
Gambar L2.2	Contoh benda hasil cetak tekan	128
Gambar L2.3	Kerangka alat ekstrusi dan penekan	129



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**Studi Manufaktur Komposit Aluminium atau Abu Terbang Dengan Metode Metalurgi Serbuk**  
SUBARMONO, Promotor Prof. Ir. Jamasri, Ph.D

Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

## DAFTAR TABEL

	Hal.
Tabel 5.1 Komposisi serbuk aluminium	71
Tabel 5.2 Komposisi kimia abu terbang	71
Tabel 5.3 Komposisi kimia abu terbang pembanding	71



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**Studi Manufaktur Komposit Aluminium atau Abu Terbang Dengan Metode Metalurgi Serbuk**  
SUBARMONO, Promotor Prof. Ir. Jamasri, Ph.D

Universitas Gadjah Mada, 2010 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

## DAFTAR LAMPIRAN

	Hal.
LAMPIRAN I    DAPUR SINTER BERTEKANAN	121
LAMPIRAN II    DIES DAN ALAT PENCETAK AMC	126



## DAFTAR NOTASI

A	: luas penampang pin ( $\text{mm}^2$ )
b	: lebar spesimen (mm)
c	: jarak sumbu netral ke permukaan specimen (mm)
$F_{\text{fail}}$	: gaya maksimum pada uji bending (N)
$G_a$	: berat spesimen di udara (mg)
$G_w$	: berat spesimen di dalam air (mg)
H	: tinggi spesimen (mm)
I	: momen inersia ( $\text{mm}^4$ )
L	: panjang diagonal penetrator intan (mm)
M	: momen (N.mm)
P	: gaya tekan pada penetrator intan (kg)
Q	: beban pada pin (N)
S	: panjang lintasan (m)
$S_1$	: jarak antar tumpuan pada uji bending (mm)
$S_2$	: jarak antar gaya tekan pada uji bending (mm)
VHN	: harga kekerasan Vickers ( $\text{kg/mm}^2$ )
W	: berat spesimen yang hilang pada uji keausan (mg)
$W_r$	: Laju keausan ( $\text{mg/MPa.m}$ )
$\Phi$	: porositas komposit (%)
$\lambda_A$	: fraksi berat aluminium (%)
$\lambda_F$	: fraksi berat abu terbang (%)
$\rho_{At}$	: densitas teoritis aluminium ( $\text{gr/cm}^3$ )
$\rho_b$	: densitas bulk ( $\text{gr/cm}^3$ )
$\rho_{Ft}$	: densitas teoritis abu terbang ( $\text{gr/cm}^3$ )
$\rho_t$	: densitas teoritis komposit ( $\text{gr/cm}^3$ )
$\rho_w$	: densitas air ( $\text{gr/cm}^3$ )