PENGARUH TEMPERATUR SINTERING DAN FRAKSI BERAT PENGUAT TERHADAP SIFAT MEKANIS METAL MATRIX COMPOSITE BERPENGUAT ABU TERBANG DENGAN KOMPAKSI UNIAKSIAL.

Subarmono, M.W. Wildan dan Kusnanto
Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
Email: barmono_sbr@yahoo.com

Intisari

Metal matrix composite (MMC) dengan penguat abu terbang adalah bahan teknik yang perlu dikembangkan karena di Indonesia banyak dijumpai pembangkit listrik tenaga uap yang mengeluarkan limbah berupa abu terbang dalam jumlah yang banyak. Disamping itu industri otomotif dan dirgantara memerlukan bahan dengan perbandingan kekuatan dan berat relatip tinggi, salah satu bahan yang memenuhi kriteria tersebut adalah MMC.

Pada penelitian ini akan dicari fraksi berat penguat abu terbang dan temperatur sintering optimum, bila kompaksi dilakukan secara uniaksial.

Pada penelitian ini MMC dibuat dari serbuk aluminium sebagai matrix dan penguat abu terbang (AMC) berukuran dibawah 53 μm dengan fraksi berat 0%; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% yang dicampur menggunakan *rotary mixer* selama 2 jam kemudian dikompaksi secara uniaksial. Hasil kompaksi disinter pada temperature 500ºC, 525ºC, 550ºC, 575ºC dan 600ºC di lingkungan gas argon selama 3 jam. Selanjutnya benda uji diuji bending, kekerasan, laju keausan dan pengamatan struktur mikro menggunakan SEM.

Hasil pengujian menunjukan bahwa sifat mekanis MMC terbaik adalah AMC dengan penguat 5% berat dan disinter pada temperatur 550ºC yaitu tegangan bending 143 MPa, kekerasan 63 VHN dan laju keausan 5.10^{-5}gr/MPa.m.

Kata kunci : kompaksi, uniaksian, sinter.

PENDAHULUAN

Seiring dengan kemajuan teknologi berbagai industri, seperti industri alat dirgantara, industri alat tempur, dan industri otomotif memerlukan bahan dengan perbandingan kekuatan dan berat yang tinggi, ketahanan aus tinggi, daya hantar panas tinggi, koefisien muai panas rendah dan mudah proses manufakturnya. Salah satu bahan alternatif yang memenuhi syarat-syarat di atas adalah *metal matrix composites* (Atas dan Gur, 2000). *Metal matrix composites* (MMC) umumnya dibuat dari bahan matrik logam ringan seperti aluminium atau magnesium sebagai matrik dengan penguat grafit, boron, alumunium oksida dan silikon karbid. Bentuk penguat dapat berupa serat panjang, serat pendek dan partikel (Rawal 2001).

Pengukuran yang dilakukan oleh Saptoadi, dkk (2003) menunjukkan bahwa abu terbang terdiri unsur utama 19,35% Al_2O_3, 58,91% SiO_2 dan 8,65% CaO. Dari hasil pengukuran komposisi tersebut sangat memungkinkan bahwa abu terbang dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan *light weight aggregates*, dapat digunakan juga sebagai bahan baku pembuatan *glass-ceramic* dan juga sebagai bahan penguat MMC dengan matrix aluminium karena kandungan alumina dan silika yang cukup tinggi

Mazen dan Ahmed (1998) meneliti MMC dengan matrik aluminium dan penguat alumina. MMC dibuat dengan menggunakan *hot pressing* dilanjutkan dengan *hot extrusion* . Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa aluminium tanpa penguat mempunyai tegangan maksimum 171 MPa, MMC dengan fraksi penguat semakin besar tegangan tariknya semakin rendah yaitu 135 MPa untuk MMC dengan 10% berat penguat. Sedangkan hasil pengujian desak menunjukan bahwa tegangan desak tertinggi terjadi pada MMC dengan penguat 2,5% berat penguat sebesar 250 MPa.

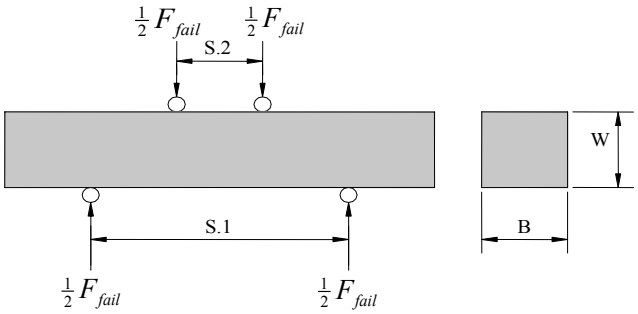
Miyajima dan Iwai (2002) melaporkan bahwa keausan bahan komposit sangat tergantung pada dua faktor, faktor pertama adalah faktor mekanis antara lain kecepatan luncur dan gaya normal, faktor kedua adalah faktor bahan antara lain fraksi volume bahan penguat, jenis bahan dan ukuran bahan penguat. Dalam penelitiannya yang dilakukan dengan metode *pin on disk*, pin dari baja karbon dan disk dari MMC dilakukan dengan gesekan kering, gaya normal dan kecepatan gesek rendah (10 N dan 0,1 m/dt) untuk mengeliminasi pengaruh panas. Bahan MMC adalah Al2024 sebagai matrik, whisker SiC diameter 0,1-1 μm dan panjang 5-25μm sebagai penguat dengan fraksi volume 5-29% (MMCw), partikel SiC diameter 10 μm sebagai penguat dengan fraksi volume 2-10% (MMCp). MMC dibuat dengan teknologi serbuk. Hasil pengujian menunjukkan bahwa keausan MMC menurun bila fraksi volume penguat bertambah, kecuali MMC dengan penguat serat memberikan laju keausan terendah pada fraksi volume 10%. Penurunan laju keausan karena deformasi plastis pada MMC dengan fraksi volume besar berkurang.

Pembuatan MMC yang dilakukan Miyajima dan Iwai (2002) yaitu dengan teknologi serbuk juga dilakukan oleh Sahin (2004), bahan matrik Al 2014 dan penguat partikel SiC sebanyak 10% fraksi volume pengujian aus dilakukan dengan *pin on disk*. Tetapi arah penelitiannya adalah untuk mencari optimasi parameter test sifat aus MMC dengan metode Taguchi. Parameter pengujian ukuran partikel 50 dan 100 μm, beban 5 dan 15 N, ukuran bahan abrasif 100 dan 50 μm serta panjang lintasan gesek 18 dan 36 m. Hasil pengujian menunjukkan bahwa parameter yang paling berpengaruh adalah ukuran partikel abrasiv, semakin besar ukuran bahan abrasiv laju keausan semakin besar. Selanjutnya diikuti ukuran partikel penguat, semakin besar ukuran partikel penguat laju keausan semakin rendah.

PROSEDUR PENELITIAN

Bahan matrix yang digunakan adalah serbuk aluminium ukuran *fine powder* buatan Jerman. Bahan penguat yang digunakan adalah abu terbang dari limbah pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Suralaya Banten. Spesimen dengan bahan matrik serbuk aluminium dan 5 variasi penguat yaitu 0; 2,5%; 5%; 7,5% dan 10% berat abu terbang yang sudah dikalsinasi pada temperatur 900ºC selama 3 jam dan ukuran butir lebih kecil dari 53 μm. Campuran matrix dan abu terbang diaduk menggunakan *rotary mixer* selama 3 jam, kemudian dicetak dengan tekanan uniaksial sebesar 100 MPa menjadi spesimen (*green body*). Selanjutnya spesimen disinter dalam *furnace* dengan temperatur 500, 525, 550, 575 dan 600^{C} dengan lingkungan gas argon. Kemudian spesimen diuji bending, kekerasan, ketahanan aus dan pengamatan struktur mikro menggunakan SEM.

Pengujian bending adalah pengujian untuk menentukan tegangan bending suatu benda. Pengujian ini mengikuti standar JIS 1601 yang sama dengan standar DIN 51-110-1 dan B 451-104, bentuk benda uji berupa balok 3 x 4 x 50 dan pengujiannya secara *four point bending* dengan jarak tumpuan 40 mm dan jarak antar beban 20 mm. Beban patah adalah beban tertinggi yang dapat ditanggung oleh spesimen dan dapat langsung dilihat pada layar mesin uji.



Gambar 1. Skema uji *bending* (*four point bending*)

Tegangan maksimum terhadap beban *bending* dinyatakan sebagai *modulus of rupture* (σ_{MOR})

$$\sigma_{MOR} = \frac{My}{I} = \frac{3(S_1 - S_2)}{2.B.W^2} xF_{fail} \quad \text{……..…..} \qquad (1)$$

Keterangan:

Fail= beban *bending* maksimum (N)

M = momen (Nmm)

I = momen inersia (mm^4)

y = W/2 (mm)

Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers, menggunakan penetrator piramida intan yang dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besarnya sudut antara permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah 136^o. Nilai kekerasan Vickers (VHN), didefinisikan sebagai beban dibagi luas permukaan lekukan. Beban yang biasanya digunakan pada pengujian Vickers berkisar antara 1 sampai 120 kg, tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji. Sedangkan luasan permukaan lekukan bekas injakan penetrator dapat dihitung dari pengukuran mikroskopis panjang diagonalnya.

$$\text{VHN} = \frac{1{,}854P}{L^2} \text{……......(2)}$$

Dimana :

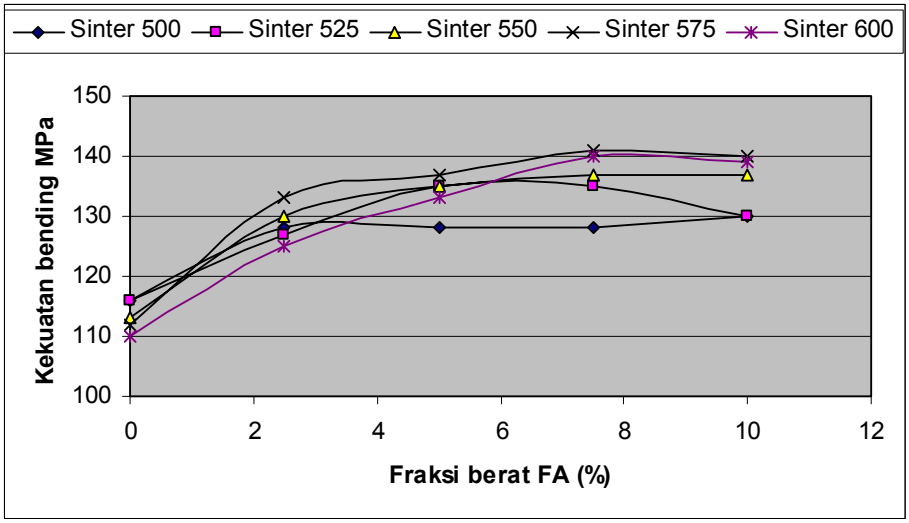
VHN = Harga kekerasan Vickers (kg/mm^2)

P = Beban yang bekerja pada penetrator intan (kg)

L = Diagonal bekas penekanan penetrator intan(mm)

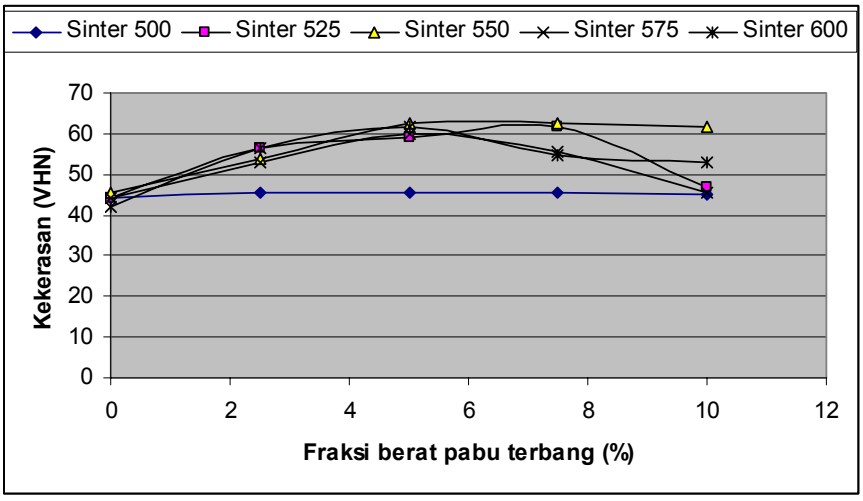
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengujian bending diperoleh data berupa beban maksimum dan ukuran spesimen kemudian dengan menggunakan Persamaan (1) hasilnya dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 2



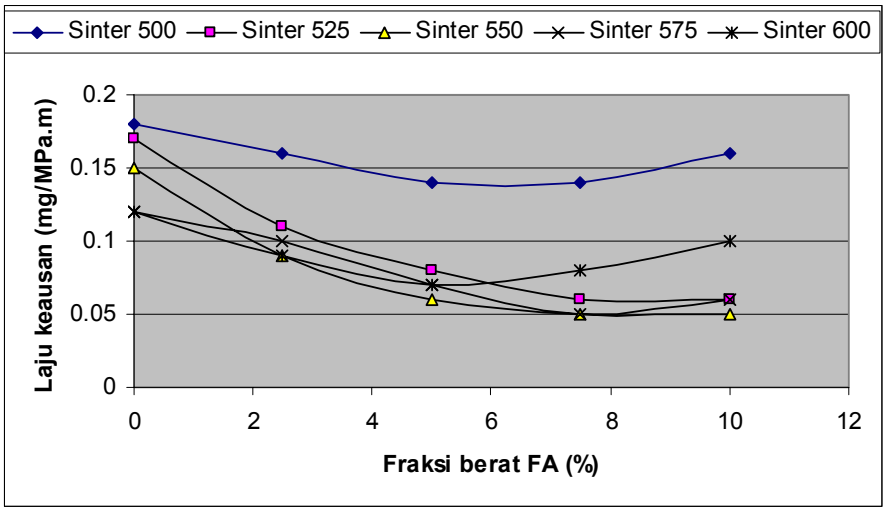
Gambar 2. Grafik hubungan kekuatan bending vs fraksi berat penguat (abu terbang) pada AMC dikompaksi secara uniaksial

Dari hasil pengujian kekerasan diperoleh data berupa beban dan ukuran panjang diagonal injakan penetrator kemudian dengan menggunakan Persamaan (2), hasilnya dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 3



Gambar 3. Grafik hubungan kekerasan Vickers vs fraksi berat penguat (abu terbang) pada AMC kompaksi uniaksial

Dari hasil pengujian laju keausan diperoleh data berupa berat awal (sebelum pengujian), berat akhir (setelah pengujian), panjang lintasan dan tekanan pada benda uji kemudian dihitung laju keausan yaitu pengurangan berat setiap panjang lintasan 1 meter dan tekanan 1 MPa hasilnya dapat ditampilkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4



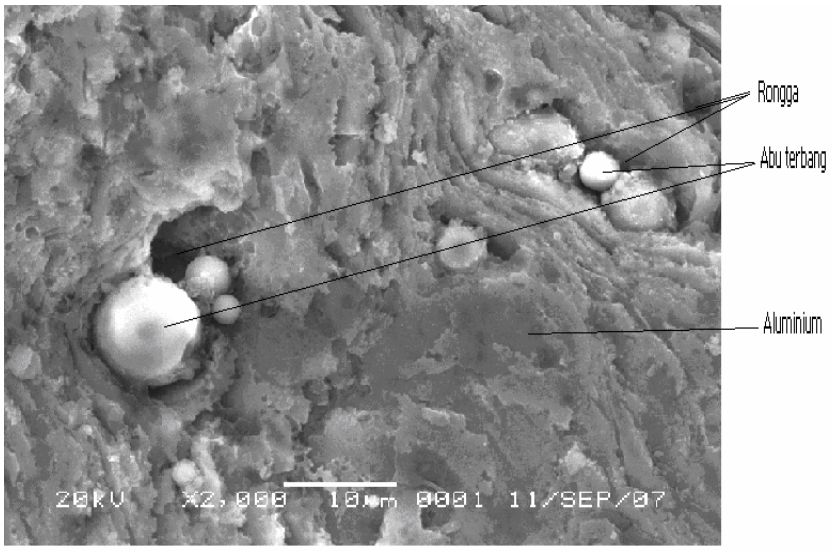
Gambar 4. Grafik hubungan laju keausan vs fraksi berat penguat AMC kompaksi uniaksial.

Pada AMC yang disinter pada temperatur 500ºC kekerasannya hampir sama untuk berbagai fraksi berat penguat karena proses sintering belum terjadi (temperatur belum cukup) atau porositasnya masih terlalu tinggi hal ini dapat dilihat dari gambar struktur mikro pada Gambar 5. Sedangkan spesimen dengan temperatur sintering 525ºC kekerasannya belum optimal (porositas masih tinggi), hal ini dapat dilihat dari gambar struktur mikro pada Gambar 6. Temperatur sintering optimal adalah pada temperatur 550ºC hal ini ditandai kekerasan yang tinggi yaitu 63 VHN (Gambar 3) dan porositas yang rendah (Gambar 7), sedang sintering pada temperatur 600ºC juga mulai muncul porositas yang tinggi karena adanya beberapa komponen yang hilang akibat temperatur yang tinggi hal ini dapat dilihat pada Gambar 9.

Dari proses sintering yang sempurna juga akan menghasilkan AMC dengan kekuatan bending yang tinggi yaitu sebesar 143 MPa pada AMC dengan fraksi berat penguat 7,5% (Gambar 2) hal ini juga didukung oleh struktur mikro dengan porositas rendah dan tidak adanya pengelompokan partikel abu terbang (Gambar 7 dan 11) serta meningkatnya unsur penguat hal ini ditunjukkan oleh hasil pengamatan EDX (Gambar 13, 14 dan 15). Untuk AMC dengan fraksi penguat yang lebih tinggi akan menurunkan kekuatan bending karena adanya pengumpulan abu terbang yang tidak terlapisi oleh matrix aluminium hal ini dapat dilihat pada Gambar 12 walaupun unsur penguat bertambah banyak (Gambar 15).

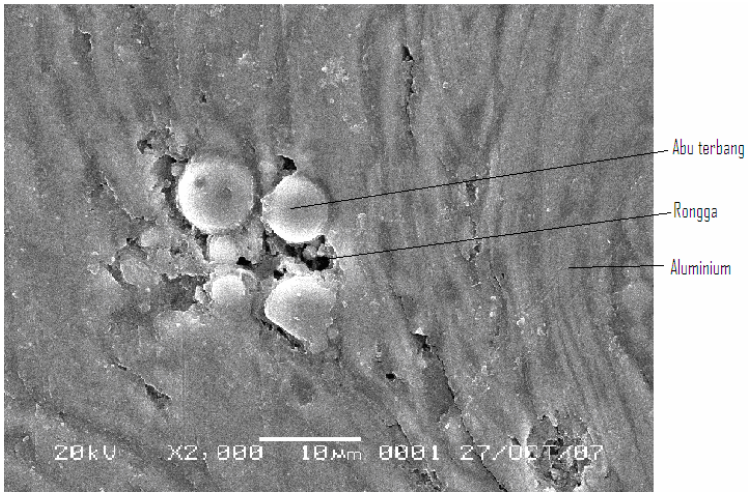
Laju keausan terendah pada AMC dengan temperatur sintering 550ºC dengan fraksi berat di atas 7,5% yaitu sebesar 0.05 mg/MPa.m, karena pada temperatur tersebut menghasilkan AMC dengan porositas terendah dan partikel penguat sudah cukup merata atau tidak ada pengelompokan partikel abu terbang. Sedang fraksi berat penguat yang rendah tidak ada partikel penguat yang menahan aus (Gambar

11). Untuk fraksi berat penguat yang lebih besar atau sama dengan 7,5 % ketahanan ausnya baik tetapi kekuatan bending turun karena partikel penguat saling berdekatan atau tidak terikat oleh matrix secara sempurna (Gambar 11 dan 12)

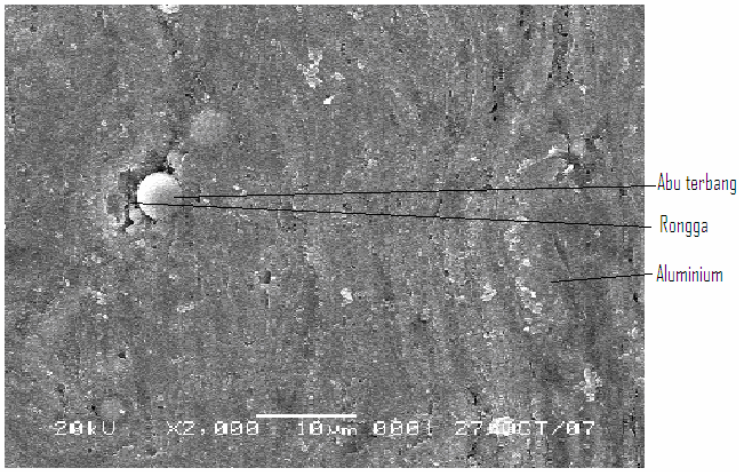


Gambar 5. Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% dan disinter 500ºC

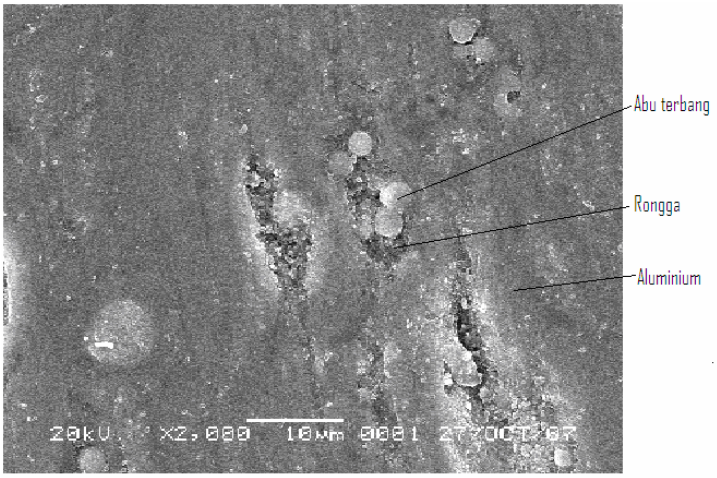
Gambar 6. Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% dan disinter 525ºC



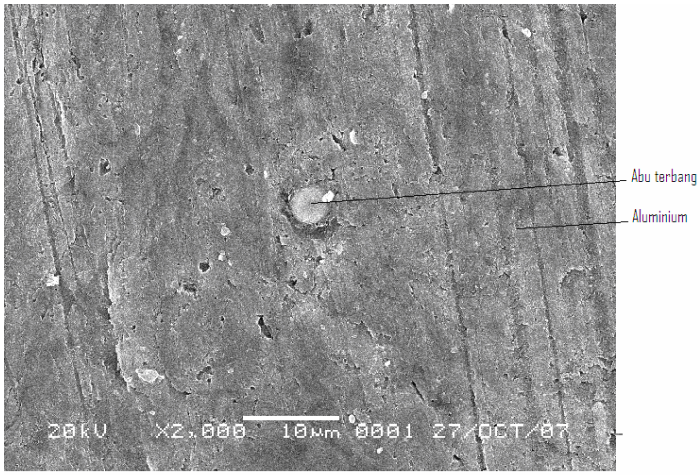
Gambar 7. Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% dan disinter 550ºC



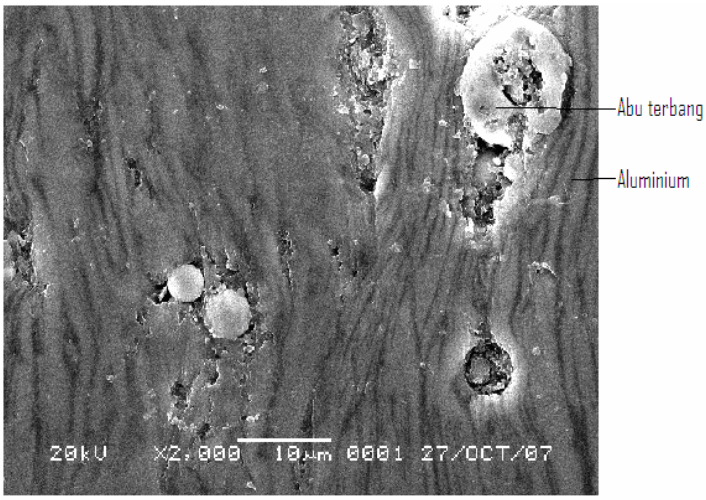
Gambar 8. Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% dan disinter 575ºC



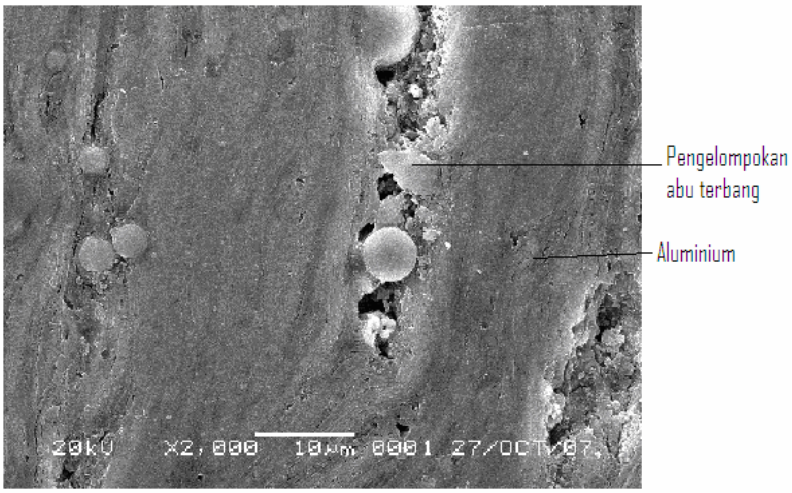
Gambar 9. Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 5% dan disinter 600ºC



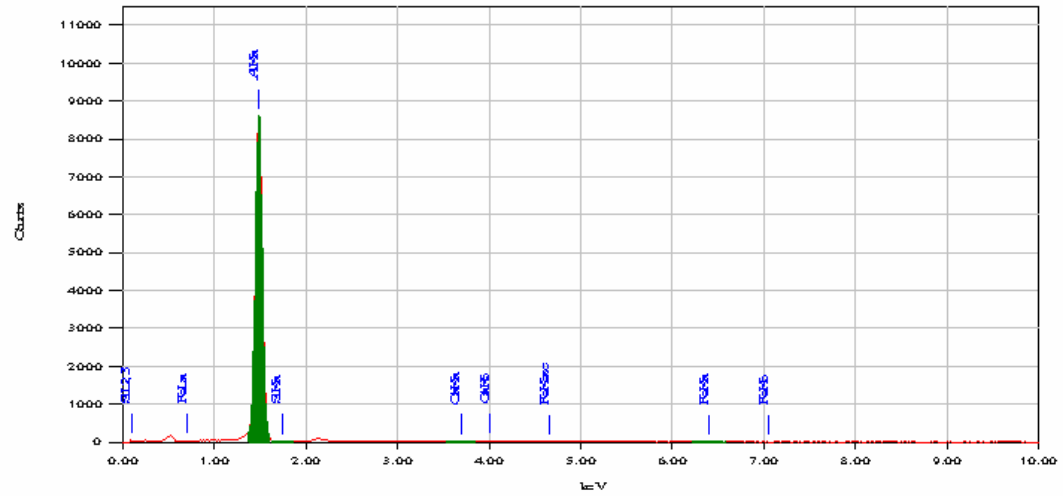
Gambar 10. Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 2,5% dan disinter 550ºC



Gambar 11. Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 7,5% dan disinter 550ºC

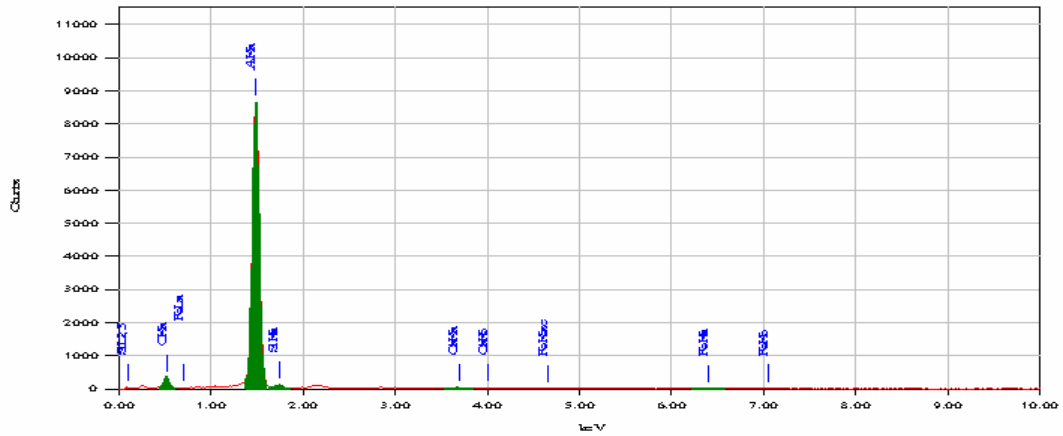


Gambar 12. Struktur mikro AMC dengan fraksi berat abu terbang 10% dan disinter 550ºC



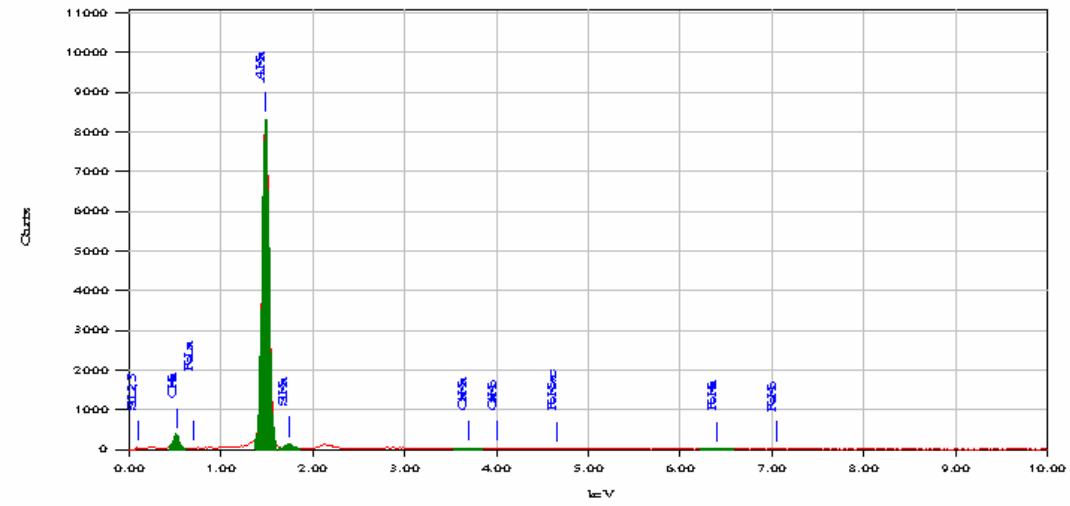
Element		(keV)	mass%	Error%	At%	Compound		mass%	Cation	K
O			47.05							
Al K		1.486	52.87	1.38	99.86	Al2O3	99.90	15.99	99.8313	
Si K	*									
Ca K	*									
Fe K	*	6.398	0.08	3.78	0.14	FeO	0.10	0.01	0.1687	
Total			100.00		100.00		100.00	16.00		

Gambar 13. Hasil EDX Al-MMC tanpa penguat, disinter pada suhu 550ºC



Element		(keV)	mass%	Error%	At%	Compound		mass%	Cation	K
O			47.01							
Al K		1.486	52.30	1.32	98.03	Al2O3	98.81	15.83	98.7589	
Si K	*	1.739	0.32	2.35	1.15	SiO2	0.68	0.09	0.3746	
Ca K	*	3.690	0.18	1.83	0.46	CaO	0.25	0.04	0.4430	
Fe K	*	6.398	0.20	3.60	0.36	FeO	0.25	0.03	0.4235	
Total			100.00		100.00		100.00	15.99		

Gambar 14. Hasil EDX Al-MMC dengan fraksi berat penguat 5%, disinter pada suhu 550ºC



Element		(keV)	mass%	Error%	At%	Compound		mass%	Cation	K
O			46.98							
Al K		1.486	51.84	1.31	96.66	Al2O3	97.95	15.70	97.9703	
Si K	*	1.739	0.60	2.32	2.13	SiO2	1.27	0.17	0.7026	
Ca K	*	3.690	0.20	1.82	0.50	CaO	0.28	0.04	0.4892	
Fe K	*	6.398	0.39	3.57	0.70	FeO	0.50	0.06	0.8379	
Total			100.00		100.00		100.00	15.97		

Gambar 15. Hasil EDX Al-MMC dengan fraksi berat penguat 10%, disinter pada suhu 550ºC

KESIMPULAN

1. Temperatur sintering optimum adalah 550ºC.
2. Kekuatan bending maksimum AMC dengan fraksi berat abu terbang 7,5% dan temperatur sintering 575ºC yaitu sebesar 143 MPa
3. Kekerasan Vickers maksimum sebesar 63 VHN pada AMC dengan fraksi berat abu terbang 7,5% dan temperatur sintering 550ºC
4. Laju keausan minimum sebesar 0,05mg/MPa.m pada AMC dengan fraksi berat abu terbang 7,5% dan temperatur sintering 550ºC .

DAFTAR PUSTAKA

Atas E., Gus C.H., 2000, *Determination of Properties of SiC Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites by Ultrasonic Techniques*, Middle East Technical University, Ankara http://www.ndt.net.

Mazen A.A., Ahmed A.Y., 1998, *Mechanical Behaviour of Al-Al_2O_3 MMC Manufacture by PM Technique. Part I – Scheme I Processing Parameters,* pp. 393-401, Journal of Materials Engineering and Performance.

Miyajima T., Iwai Y., 2003, *Effects of Reinforcements on Sliding Wear Behavior of Aluminum Matrix Composites.,* pp. 606-616, Journal of Wear, Elsevier.

Rawal S., 2001, *Metal Matrix Composites for Space Applications*, Journal JOM pp 14-17

Saptoadi H., Sumardi PC., Suhanan, 2003, *Compression Strength of Artificial Light Weight Aggregate Made From Fly Ash*, Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin II Padang.

Sahin Y., 2004, *Optimization of Testing Parameters on the Wear Behaviour of Metal Matrix Composites Based on The Taguchi Method.,* pp.1-8 Journal of Materials Science & Engineering, Elsevier.