

Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Penambahan Fraksi Volume Abu Terbang (*Fly Ash*) Terhadap Karakteristik Fluiditas dan Sifat Mekanik *Aluminium Matrix Composite*

Hastya A. Rahman, Indra Sidharta

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: indraz_m42@yahoo.o.uk

Fluiditas merupakan salah satu faktor yang menjadi pertimbangan penting di dalam industri pengecoran. Kualitas hasil pengecoran baik untuk material murni, *alloys*, ataupun komposit dapat ditentukan salah satunya adalah dengan sifat ini. *Aluminium Matrix Composite* adalah perkembangan dari ilmu komposit dimana terdiri dari aluminium sebagai matriks dan penguat (*reinforcement*) yang bermacam-macam. Abu terbang (*fly ash*) yang memiliki sifat mekanik yang lebih unggul daripada aluminium dengan densitas yang ringan, cocok digunakan sebagai penguat. Penelitian ini meneliti pengaruh penambahan abu terbang terhadap karakteristik fluiditas, distribusi penguat, dan sifat mekanik dari *Aluminium Matrix Composite* dengan variasi penambahan abu terbang pada kadar 0%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30%. Penelitian dilakukan dengan mencampur aluminium dan abu terbang pada temperatur 850°C menggunakan metode *Stir Casting* dengan putaran 515 rpm dan waktu pencampuran selama 15 menit. Campuran yang telah jadi kemudian dituang ke dalam cetakan fluiditas dan didinginkan. Dari penelitian kali ini, didapatkan bahwa seiring dengan meningkatnya presentase abu terbang maka tingkat fluiditas *aluminium matrix composite* akan menurun. Distribusi persebaran abu terbang juga terlihat menurun dengan semakin panjangnya tingkat fluiditas. Sedangkan nilai kekerasan mengalami kecenderungan meningkat sampai dengan penambahan fraksi volume 20% abu terbang

Kata kunci : Fluiditas, *aluminium matrix composite*, abu terbang (*fly ash*), kekerasan, distribusi, dan struktur mikro.

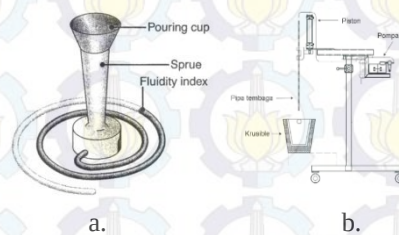
I. PENDAHULUAN

Penggunaan logam sebagai komponen utama baik dalam industri otomotif dan fabrikasi tentu sangat penting. Namun beberapa kelemahan sifat mekanik seperti tingkat fluiditas dan kekerasan yang dimiliki logam induk tentu menjadi *point* negatif pada pengaplikasiannya. Komposit adalah material yang terdiri dua atau lebih material yang berbeda dikombinasikan secara struktur makroskopik, dimana dihasilkan dari kombinasi material yang bermacam – macam. *Metal Matrix Composites* (MMC) adalah perkembangan dari komposit dimana salah satu material penyusunnya adalah logam [1]. Penelitian kali ini membahas tentang *Aluminium Matrix Composite*. Untuk mengembangkan *Aluminium*

Matrix Composite dengan biaya yang ringan, maka dibutuhkan penguat (*reinforcement*) dengan biaya yang ringan dan dapat memenuhi sifat yang diinginkan serta dapat diaplikasikan dalam dunia *engineering*. Untuk mencapai tujuan ini, biaya ringan dan densitas ringan dari abu terbang (*fly ash*) sebagai penguat diteliti sebagai pengganti dari penguat yang lebih mahal dengan meninjau tingkat fluiditas dan kekerasannya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Fluiditas merupakan kemampuan logam cair mengisi rongga-rongga cetak sampai bagian-bagian tertentu sebelum logam cair tersebut membeku [2]. Hubungan fluiditas dengan viskositas dengan viskositas adalah apabila viskositas naik, maka fluiditas akan turun. Metode yang umum digunakan untuk mengukur fluiditas logam cair adalah metode *spiral test* dan *vacuum test*. Perbedaan keduanya terletak pada instalasi alat dan jenis cetakan yang dipakai untuk melakukan pengujian tersebut.



Gambar 1. Metode Pengujian Fluiditas [2].
a. Spiral Method; b. Vacuum Method

Komposit adalah material yang terdiri dua atau lebih material yang berbeda dikombinasikan secara struktur makroskopik, dimana dihasilkan dari kombinasi material yang bermacam-macam [3]. Pada komposit salah satu material adalah berfungsi sebagai fase pengisi (*matrix*) sedangkan material lainnya sebagai fase penguat (*reinforcement*). Dari penggabungan dua material yang berbeda maka akan didapatkan suatu material yang sifatnya lebih baik dari material penyusunnya, dimana merupakan gabungan dari matriks dan penguatnya. Dengan perkembangan teknologi komposit, maka memungkinkan untuk mendapatkan material komposit sesuai dengan yang diinginkan sehingga dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang mulai dari peralatan memasak, peralatan elektronik, otomotif, hingga peralatan industri.

Aluminium Matrix Composite adalah komposit dengan matriks aluminium dan penguat. Aluminium memiliki sifat yang ringan, kuat, mengkilat (abu-abu perak metalik), tidak beracun, tahan panas, penghantar panas yang baik, konduktor listrik yang baik, tidak korosi (karat) dan mudah di-ekstrusi (dicetak dalam bentuk penampang yang tetap) menjadikan aluminium banyak digunakan untuk berbagai keperluan [3].

Abu terbang merupakan material sisa pembakaran batu bara yang ringan dan memiliki ukuran butiran yang halus. Abu terbang ini dihasilkan dengan menggunakan teknik fluidisasi, dimana udara panas diumpankan ke batubara sehingga benda padat diatasnya berkelakuan menyerupai fluida [4]. Abu terbang yang digunakan pada studi kali ini adalah abu terbang sisa pembakaran batu bara pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU).

A. Proses Stir Casting

Pembentukan *aluminium matrix composite* pada keadaan cair meliputi penggabungan dari fase terdispersi ke dalam aluminium yang leleh kemudian ditambahkan penguat yang diaduk dengan pengaduk mekanis. Kemudian material komposit cair di cor menggunakan metode cor konvensional ataupun bisa menggunakan teknologi pembentukan (*forming*) konvensional lain. Pengadukan berlanjut hingga logam menjadi semi padat dan berhasil memerangkap partikel penguat [3].

Karakteristik dari *stir casting* adalah ;

- Distribusi dari fase terdispersi ke dalam matriks tidak homogen secara utuh.
- Distribusi dari fase terdispersi bisa ditingkatkan dalam kondisi semi *solid*. Metode menggunakan *stir casting* saat kondisi semi solid disebut dengan *rheocasting*.

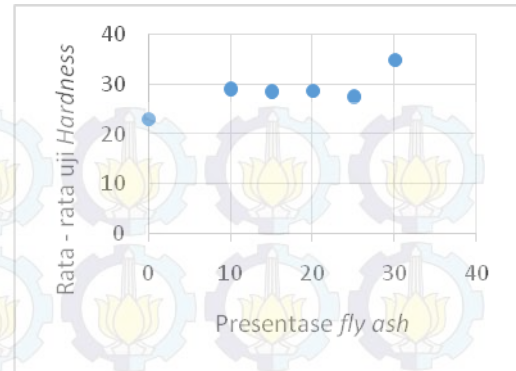
B. Studi Literatur Sebelumnya

Studi tentang *Aluminium Matrix Composite* dengan penguat abu terbang dan dilakukan dengan metode *stir casting* juga telah dilakukan sebelumnya. Abu terbang ditambahkan ke dalam logam aluminium cair dengan variasi persentase (%) massa yang kemudian dilakukan beberapa pengujian seperti *Scanning Electron Microscope (SEM)*, *Hardness*, dan *Impact*.



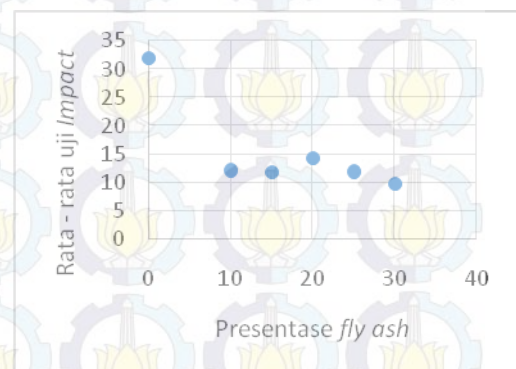
Gambar 2. Struktur Mikro Hasil *Scanning Electron Micro scope (SEM)* pada *Aluminium Matrix Composite* dengan Penguat (*reinforcement*) Abu Terbang (*fly ash*) dengan perbesaran 5000x [1].
a. 25% Abu Terbang; b. 30% Abu Terbang.

Pada uji *Hardness*, didapatkan semakin bertambahnya prosentase abu terbang di dalam matriks, maka nilai kekerasannya cenderung meningkat jika dibandingkan dengan aluminium murni.



Gambar 3. Grafik Nilai Rata-Rata *Hardness* terhadap Prosentase *Fly Ash* [1].

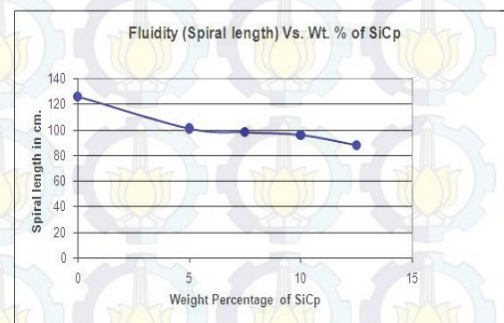
Untuk pengujian *Impact*, didapatkan grafik sebagai berikut :



Gambar 4. Grafik Nilai Rata-Rata *Impact* terhadap Prosentase *Fly Ash* [1].

Dari gambar 4, terlihat bahwa semakin bertambahnya prosentase *fly ash*, maka nilai *impact strength*-nya cenderung menurun.

Sedangkan pengaruh penguat terhadap matriks dapat dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 5. Grafik Panjang Spiral (Fluiditas) Terhadap Prosentase SiC [5].

Pada gambar 5, terlihat bahwa dengan bertambahnya penguat SiC terhadap matriks aluminium LM6, maka fluiditasnya semakin menurun.

III. METODE PENELITIAN

Tabel 1. Massa bahan penyusun campuran

Kode Spesimen	Prosentase <i>Fly Ash</i> (%)	<i>Fly Ash</i> (gr)	Aluminium (gr)
1	0	0	1647
2	10	142,1	1482,3
3	15	213,1	1399,9
4	20	284,2	1317,6
5	25	355,3	1235,2
6	30	426,3	1152,9

A. Pembuatan Aluminium Matrix Composite

Persiapan spesimen dimulai dengan pemotongan material aluminium menjadi potongan kecil – kecil sehingga dapat dimasukkan ke dalam *furnace*. Aluminium yang telah dipotong di timbang sesuai dengan komposisi setiap spesimen yang akan diuji. Aluminium yang telah berukuran kecil dan ditimbang dimasukkan ke dalam *furnace* yang terdapat *ladle* di dalamnya dan dipanaskan hingga suhu 850 °C hingga aluminium mencair seluruhnya. Setelah aluminium mencair, abu terbang yang telah dibungkus *aluminium foil* dimasukkan ke dalam *ladle*. Pembungkusan abu terbang menggunakan *aluminium foil* bertujuan untuk meningkatkan kemampubasahan (*wettability*). Kemampubasahan adalah kontak antara fase liquid dan fase solid ketika keduanya terbawa secara bersamaan. Kemampubasahan yang baik terlihat ketika matriks mampu membasahi seluruh topografi dari partikel penguat.



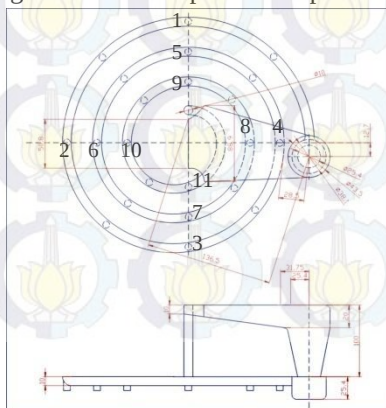
Gambar 5. Skema instalasi alat penelitian.

Campuran aluminium cair dan abu terbang kemudian di aduk dengan kecepatan 515 rpm selama 15 menit dengan suhu 850 °C untuk mendapatkan komposisi campuran yang homogen. Setelah diaduk, kotoran (*slag*) yang berada di permukaan cairan dibuang. Campuran aluminium cair dan abu terbang kemudian dituang ke dalam cetakan fluiditas dan didinginkan dengan media udara.

Campuran aluminium dan abu terbang yang telah mengeras kemudian dilakukan proses *grinding* untuk menghaluskan permukaan. Permukaan yang telah halus kemudian dilakukan proses *polishing* untuk mengkilatkan permukaan spesimen.

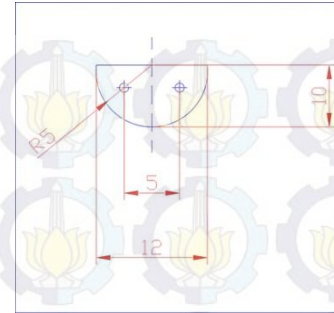
B. Pengujian Fluiditas

Pada pengujian ini, metode yang dipakai adalah *spiral method* dengan cetakan berupa cetakan pasir.



Gambar 6. Dimensi Cetakan Fluiditas.

C. Pengujian Kekerasan Material



Gambar 7. Spesimen Uji Hardness.

Pengujian kekerasan menggunakan metode Brinell dengan indenter bola baja dengan diameter 2,5 mm. Pembebanan yang diberikan adalah 31,75. Pengujian *Hardness* dilakukan menggunakan mesin uji Frank. Spesimen uji *Hardness* berbentuk setengah lingkaran berdiameter 12 mm. Untuk titik pengujian dapat dilihat seperti gambar 6. Pemilihan dua buah titik dilakukan agar didapatkan nilai kekerasan yang dapat mewakili dari keseluruhan permukaan spesimen. Selanjutnya, dilakukan perhitungan nilai kekerasan yang melibatkan diameter indentasi dengan persamaan sebagai berikut :

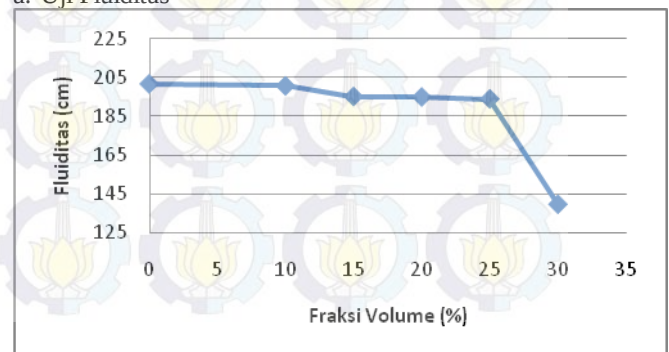
$$HBN = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

D. Pengamatan Struktur Mikro Material

Spesimen yang digunakan untuk pengamatan struktur mikro merupakan spesimen yang digunakan pada pengujian kekerasan sebelumnya, dimana permukaan pengamatan dan permukaan indentasi adalah sama. Selanjutnya spesimen disiapkan dengan prosedur metalografi standar yang melibatkan *grinding* dan *polishing* dan *etching*. Proses etsa dilakukan dengan mengusapkan larutan etsa ke permukaan spesimen, larutan etsa yang digunakan adalah *Keller Reagent* selama dua detik lalu spesimen segera dicuci dengan menggunakan alkohol 98%. Struktur mikro dari spesimen tersebut diamati dengan menggunakan mikroskop optis Olympus yang dilengkapi dengan kamera digital. Morfologi dan fase yang ada pada spesimen akan dianalisa dan didiskusikan secara menyeluruh. Spesimen juga akan dianalisa dengan *Scanning Electron Microscope (SEM)* dan *XRD (X Ray Diffraction)* untuk mendapatkan analisa detail tentang struktur mikro dan komposisi kimia dari fase yang ada.

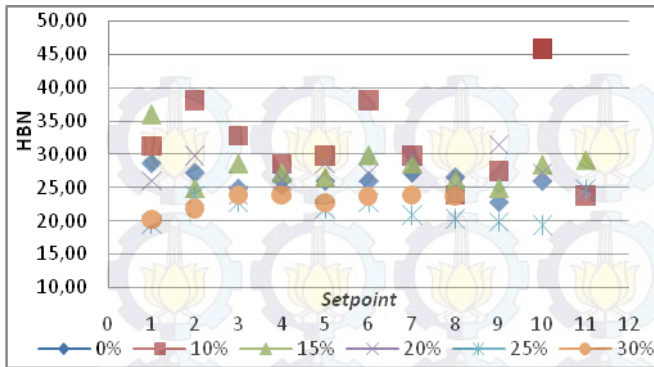
IV. DATA HASIL PENGUJIAN

a. Uji Fluiditas

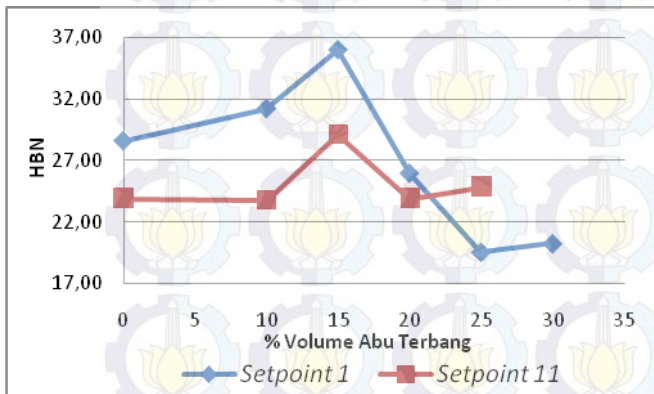


Gambar 8. Grafik Fluiditas terhadap Prosentase Abu Terbang.

b. Uji Kekerasan

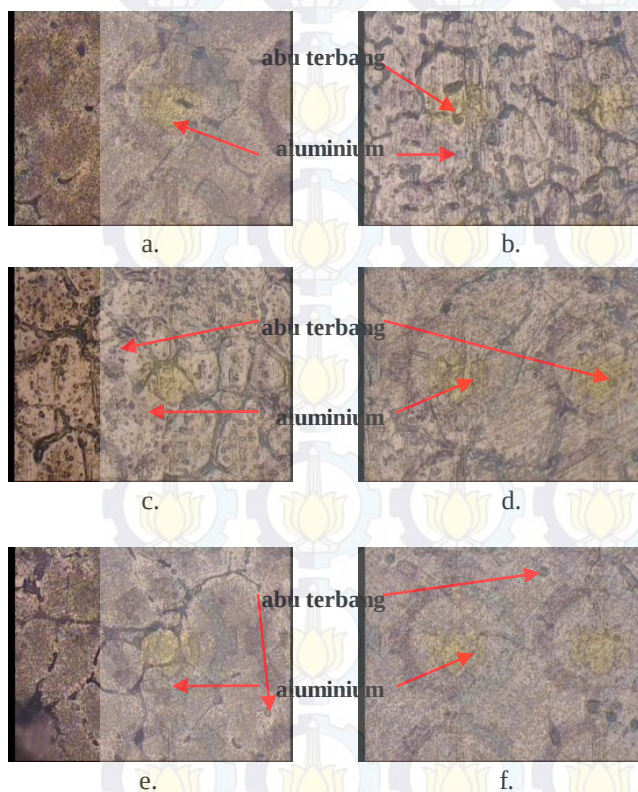
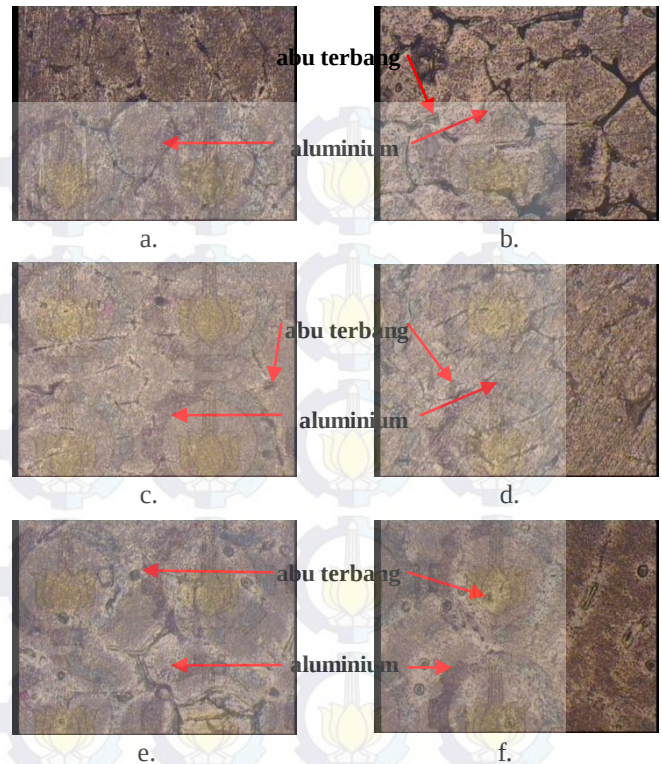


Gambar 9. Grafik Perbandingan Kekerasan pada Tiap Setpoint Untuk Pertambahan Fraksi Volume Abu Terbang yang Berbeda.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Kekerasan Terhadap Prosentase Abu Terbang.

c. Uji Struktur Mikro

Gambar 11. Struktur Mikro Hasil Pengecoran Spesimen pada Setpoint 1 dengan Perbesaran 200x.
a. 0%; b. 10%; c. 15%; d. 20%; e. 25%; f. 30%.Gambar 12. Struktur Mikro Hasil Pengecoran Spesimen pada Setpoint 11 dengan Perbesaran 200x.
a. 0%; b. 10%; c. 15%; d. 20%; e. 25%; f. 30%.Gambar 13. Hasil Uji SEM pada Spesimen.
a. Perbesaran 1000x; b. Perbesaran 5000x.

V. ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Pengaruh Penambahan Abu Terbang Terhadap Fluiditas

Dari gambar 8, terlihat bahwa terjadi penurunan panjang fluiditas seiring meningkatnya kandungan abu terbang di dalam matriks aluminium. Penurunan ini salah satunya disebabkan adanya abu terbang di dalam matriks. Dimana, semakin banyak partikel abu terbang, maka volume matriks akan semakin kecil. Selain itu, adanya partikel abu terbang juga menyebabkan viskositas logam cair menjadi meningkat dikarenakan aliran logam cair menjadi *slurry*. *Slurry* adalah aliran padatan dalam cairan [6]. Viskositas logam cair yang semakin tinggi akan menyebabkan tegangan geser permukaan yang diterima aliran logam menjadi besar, sehingga memperlambat aliran logam cair dan menjadikan jarak yang ditempuh relatif lebih pendek [5]. Adanya perubahan arah cetakan juga menyebabkan adanya desipasi energi dari logam cair, sehingga kecepatan logam cair menjadi turun dan solidifikasi menjadi mudah terjadi. Desipasi energi ini akan semakin besar apabila logam cair memiliki viskositas tinggi [7]. Faktor lain yang menyebabkan fluiditas menurun adalah sifat dari abu terbang sendiri yang akan menjadi partikel diskrit (partikel yang mudah mengendap pada suhu tinggi tanpa adanya interaksi antar partikel). Abu terbang yang

telah berubah menjadi partikel diskrit ini menyebabkan viskositas aliran logam naik, sehingga fluiditasnya akan turun [10].

B. Pengaruh Penambahan Abu Terbang terhadap Sifat Mekanik dan Struktur Mikro *Alumunium Matrix Composite*.

Pada gambar 9, dapat dijelaskan pengaruh penambahan abu terbang terhadap nilai kekerasan *alumunium matrix composite*. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa nilai kekerasan alumunium 0% abu terbang terletak ditengah-tengah grafik lainnya. Nilai kekerasan paling tinggi dimiliki oleh alumunium 10% abu terbang, 15% abu terbang, dan 20% abu terbang karena nilai kekerasannya cenderung meningkat diatas nilai kekerasan alumunium 0% abu terbang. Sedangkan nilai kekerasan alumunium 25% abu terbang dan 30% abu terbang cenderung menurun dibawah nilai kekerasan alumunium 0% abu terbang.

Sedangkan pada gambar 10, terlihat perbandingan nilai kekerasan *setpoint* 1 dan *setpoint* 11 untuk tiap pertambahan fraksi volume abu terbang. *Setpoint* 1 merupakan *setpoint* yang paling akhir terisi logam cair (pada gambar 6 ditunjukkan angka 1), sedangkan *setpoint* 11 merupakan *setpoint* yang paling awal terisi logam cair (pada gambar 6 ditunjukkan angka 11). Pada gambar tersebut juga dapat terlihat pengaruh penambahan abu terbang yang menyebabkan meningkatnya nilai kekerasan optimal sampai dengan penambahan 20% abu terbang.

Peningkatan nilai kekerasan ini dapat disebabkan oleh adanya ikatan yang terbentuk antara matriks alumunium dan partikel penguat berupa abu terbang. Partikel abu terbang yang memiliki kekerasan lebih tinggi daripada alumunium dikarenakan adanya kandungan alumina (Al_2O_3) dan besi oksida (FeO_2) didalamnya akan menyebabkan terbatasnya gerak dislokasi pada saat permukaan spesimen diberi beban indentasi, sehingga nilai kekerasannya meningkat [8]. Mekanisme penguatan ini dikenal dengan nama *dispersion strengthening*, dimana partikel penguat yang terdistribusi di dalam matriks akan menyebabkan adanya *dislocation loop* ketika dislokasi berjalan ke arah partikel penguat tersebut. Besarnya radius yang tercipta diantara *dislocation loop* menjadi faktor penting dalam meningkatnya sifat mekanik dari *alumunium matrix composite*. Semakin besar radius *dislocation loop*, maka nilai kekerasannya juga akan semakin besar [9]. Transfer beban yang terjadi antara matriks dan penguat disebabkan oleh daerah baru yang terbentuk antara matriks dan penguat yang kemudian dinamakan daerah *interfase (interphase)*. *Interfase* yang kuat ini dihasilkan dari sifat kemampubasahan matriks yang nantinya akan mendistribusikan beban ke penguat tepat pada waktunya [3].

Sedangkan penurunan nilai kekerasan yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti temperatur serta proses pengadukan yang kurang merata. Pada suhu diatas $850^{\circ}C$, abu terbang akan berubah menjadi partikel diskrit dimana partikel tersebut mudah untuk mengendap dengan sendirinya tanpa adanya interaksi antar partikel dan mengalami reaksi kimia dengan matriksnya. Pada suhu diatas $850^{\circ}C$, terjadi pengurangan progresif antara SiO_2 , FeO_3 , dan fase dari abu terbang (*mullite*) oleh Al dan membentuk Al_2O_3 . Reaksi pengurangan ini yang menyebabkan hancurnya dinding *cenosphere* abu terbang dan menyebabkan berubahnya abu terbang menjadi partikel diskrit [10].

Temperatur yang kurang maksimal dan pengadukan yang kurang merata akan menyebabkan partikel abu terbang mudah terlepas pada saat proses *grinding* dan *polishing* dikarenakan *interface* yang buruk. Hilangnya partikel abu terbang akan menurunkan nilai kekerasan dikarenakan indentasi pada material menjadi tidak maksimal. Penurunan nilai kekerasan ini juga dapat disebabkan oleh adanya porositas di permukaan spesimen. Porositas atau bagian yang berpori dapat timbul dikarenakan adanya udara yang terperangkap selama proses pembuatan *alumunium matrix composite*. Selain itu, densitas abu terbang yang tinggi juga dapat menyebabkan meningkatnya tingkat porositas. Hal ini dikarenakan dengan densitas abu terbang yang tinggi, abu terbang justru akan memiliki kemampuan perekat yang lebih buruk dan kemampuan mengendap yang lebih besar [1].

Pada gambar 10 dan 11 merupakan korelasi hubungan distribusi persebaran abu terbang di dalam matriks alumunium terhadap nilai kekerasan pada gambar 9. Abu terbang yang terlihat di struktur mikro berwarna hitam dengan bentuk bulat yang mudah ditemukan di sekitar area batas butir. Pada gambar 10, abu terbang terlihat meningkat sampai dengan penambahan 15% abu terbang. Sedangkan pada gambar 11, abu terbang mulai tampak pada penambahan 20%, 25%, dan 30% abu terbang. Apabila disinkronkan dengan gambar 9, maka struktur mikro yang tampak pada gambar 10 dan 11 dapat mewakili nilai kekerasan untuk tiap pertambahan abu terbang sesuai dengan gambar 9. Korelasi ini menyatakan bahwa semakin banyak kandungan abu terbang di dalam *alumunium matrix composite*, maka nilai kekerasannya akan meningkat. Begitupun sebaliknya, semakin sedikit kandungan abu terbang di dalam *alumunium matrix composite*, maka nilai kekerasannya menurun mendekati nilai kekerasan alumunium 0% abu terbang.

VI. KESIMPULAN

Adapun beberapa kesimpulan yang didapat dari penelitian ini diantaranya :

1. Seiring bertambahnya prosentase abu terbang di dalam *alumunium matrix composite*, maka fluiditasnya akan turun.
2. Distribusi persebaran abu terbang cenderung menurun dari *setpoint* 1 sampai dengan *setpoint* 11 pada penambahan abu terbang sebanyak 10%, 15%, dan 20%. Sedangkan pada pertambahan abu terbang sebanyak 25% dan 30%, distribusi persebaran partikel abu terbang cenderung meningkat.
3. Nilai kekerasan paling optimal terletak pada penambahan fraksi volume abu terbang sebanyak 20% pada *alumunium matrix composite*.
4. Penampakan abu terbang pada *alumunium matrix composite* semakin sedikit dari *setpoint* 1 sampai dengan *setpoint* 11.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis HAR berterimakasih kepada kedua orang tua penulis serta keluarga besar jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya yang telah memberikan banyak pelajaran berharga kepada penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sugandika, Tunjung. 2013. *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Penambahan Fraksi Volume Abu Terbang (Fly Ash) terhadap Karakteristik Sifat Mekanik Alumunium Matrix Composite*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [2] samsudinrembank.blogspot.com/2010/06/fluiditas-pengecoran.html diakses pada 25 Juli 2013.
- [3] Agus Hariono, Jothan. 2013. *Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Kadar Grafit terhadap Karakteristik Sifat Mekanik Alumunium Graphite Matrix Composite*. Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- [4] Haidar, D, M. 2011. *Fly Ash (Abu Terbang)*. Teknik Perancangan Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil. Bandung.
- [5] Behera, R. Chatterjee, D. Sutradhar, G. 2012. *Effect of Reinforcement Particles on the Fluidity and Solidification Behavior of the Stir Cast Aluminum Alloy Metal Matrix Composites*.
- [6] Febrian, H. Kurniawan. 2008. *Pengaruh Penambahan Reinforcement Terhadap Sifat Mekanik Alumunium*. Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Jakarta.
- [7] Surdia, Tata. Chijiwa, Kenji. 1986. *Teknik Pengecoran Logam 8th*. Jakarta.
- [8] Sarangi, S. Kumar, D. 2009. *Fabrication and Characterisation of Alumunium-Fly Ash Composite Using Stir Casting Method*. Departement of Metallurgical & Materials Engineering National Institute of Technology. Rourkela.
- [9] Verma, S. Kumar. *Dispersion Strengthening of Composite*. Departement of Metallurgical. Varanasi.
- [10] Sarangi, S. Kumar, D. 2009. *Fabrication and Characterisation of Alumunium-Fly Ash Composite Using Stir Casting Method*. Departement of Metallurgical & Materials Engineering National Institute of Technology. Rourkela.