

PENGARUH PENAMBAHAN FLY ASH MELALUI PROSES SEPARASI IRON OXIDE DAN COAL TERHADAP KEAUSAN ALUMINIUM

Gunawan Dwi Haryadi¹⁾

Abstrak

Aluminium memiliki beberapa kelebihan dibanding material logam yang lain misalnya ketahanan korosinya atau beratnya yang ringan. Tetapi di sisi yang lain aluminium memiliki kekurangan yaitu kekuatannya yang rendah termasuk ketahanan ausnya. Tujuan pengujian ini ialah untuk mengetahui pengaruh penambahan fly ash setelah melalui pemisahan kandungan iron oxide dan coal dari fly ash terhadap keausan aluminium. Proses pemisahan iron oxide menggunakan metode magnetic separation sedangkan pemisahan coal menggunakan metode fluidisasi. Penambahan aluminium dengan fly ash disebut juga Metal Matrix Composite Aluminium Fly Ash (ALFA). Proses penambahan fly ash ke dalam aluminium menggunakan metode stir casting. Persentase fly ash yang ditambahkan adalah 5%, 10% dan 15% berat. Pengujian keausan yang dilakukan menggunakan metode pin on disk dengan material abrasifnya amplas dan spesimen berbentuk spherical ended pin.

Hasil yang didapat memperlihatkan bahwa Metal Matrix Composite Aluminium-Fly Ash (ALFA) setelah melalui pemisahan memiliki ketahanan aus yang lebih tinggi dibanding aluminium murni dan ALFA tanpa pemisahan

Kata kunci : separasi, fly-ash

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada saat ini, perkembangan teknologi diharapkan menggunakan kekayaan alam dengan hemat tetapi tetap dapat menghasilkan sebuah produk dengan kualitas baik. Di bidang material, banyak dilakukan pengembangan-pengembangan untuk mendapatkan material dengan sifat yang diinginkan. Metal Matrix Composite (MMCs) atau komposit matriks logam adalah salah satu cara untuk mendapatkan material dengan sifat-sifat yang diinginkan. Komposit matriks logam ini merupakan kombinasi antara logam sebagai penyusun utama (matrix) dengan material lainnya sebagai penguat (reinforcement).

Beberapa tahun terakhir ini banyak dikembangkan Aluminium sebagai komposit matriks logam yang menggunakan fly ash sebagai penguatnya. Aluminium yang dikenal sebagai logam yang mempunyai sifat seperti ringan, tahan korosi, penghantar listrik yang baik digunakan sebagai matriks sedangkan fly ash berfungsi sebagai penguat. Fly ash yang merupakan salah satu hasil sisa (limbah) dari pembakaran batu bara banyak dibuang begitu saja. Penggunaan fly ash pada MMCs ini diharapkan mampu menyelesaikan masalah lingkungan yang ditimbulkan jika fly ash dibiarkan begitu saja. Dan ternyata penggunaan fly ash ini mampu meningkatkan sifat fisik dan mekanik dari aluminium. Pada penelitian ini, metode stir casting digunakan untuk menghasilkan MMCs Aluminium Fly Ash (ALFA).

Pada penelitian sebelumnya terjadi kendala saat stir casting yaitu fly ash tidak tercampur semua dengan aluminium karena adanya perbedaan densitas yang cukup jauh sehingga ada yang mengendap diperkirakan iron oxide dengan densitas 5,3 sampai 5,4 g/cm³ dan ada pula yang mengapung diperkirakan coal dengan densitas 0,64 sampai 0,93 g/cm³ padahal densitas aluminium cair 2,375 g/cm³. sehingga pada penelitian kali ini dilakukan pemisahan iron oxide (Fe₂O₃) dan coal terlebih dahulu. Iron oxide dipisahkan dengan cara magnetik sedangkan coal dipisahkan dengan cara fluidisasi. Dengan pemisahan tersebut diharapkan fly ash tercampur merata dan senyawa silika dan alumina dapat tercampur lebih banyak sehingga sifat mekanik aluminium komposit lebih baik karena alumina mempunyai kekerasan yang tinggi sedangkan silika mampu menjadi pengikat.

Alasan Pemilihan Judul

Untuk mengetahui pengaruh penambahan fly ash sebagai partikel penguat terhadap sifat mekaniknya aluminium, maka penulis mengambil judul "Pengaruh penambahan Fly Ash melalui proses separasi Iron Oxide dan Coal terhadap keausan Aluminium"

Tujuan Penulisan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penulisan tugas akhir ini adalah mengetahui pengaruh penambahan fly ash setelah melalui proses pemisahan iron oxide dan coal terhadap keausan aluminium.

Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP

Pembatasan Masalah

Pembatasan masalah pada penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Pembuatan coran aluminium *fly ash* dengan menggunakan metode *stir casting* hanya dibatasi dengan menggunakan variasi persentase berat *fly ash* yang telah mengalami proses separasi *iron oxide* dan *coal* yaitu 5%, 10% dan 15% dan dengan suhu dan kecepatan pengadukan konstan (700°C dan 600 rpm).
2. Pengujian mekanik yang dilakukan adalah pengujian keausan abrasif pada temperatur ruangan.

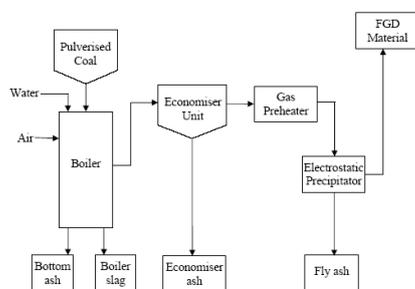
LANDASAN TEORI

Aluminium dan Paduannya

Untuk meningkatkan sifat fisik dan mekaniknya, biasanya aluminium murni dipadu dengan unsur lain seperti Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan unsur paduan lainnya. Paduan ini nantinya dapat dipergunakan secara luas di berbagai bidang, mulai dari peralatan rumah tangga, peralatan listrik, komponen otomotif, konstruksi sampai di bidang *aerospace*, yaitu untuk membuat badan pesawat terbang.

Fly Ash

Berikut ini adalah diagram alir proses terbentuknya sisa pembakaran (limbah) batubara pada power plant:



Gambar 1. Diagram alir terbentuknya sisa pembakaran batubara. [Ref. 3 hal. 7]

Sejarah Fly Ash

Dari masing-masing sisa hasil pembakaran batubara pada *power plant* dapat diuraikan dengan penjelasan berikut: [Ref. 3 hal. 8-11]

a) Fly ash

Fly ash adalah material limbah padat yang dipisahkan dari gas buang *power plant* dengan *electrostatic* atau *mechanical precipitator* pada saat gas buang hasil pembakaran batubara dikeluarkan melewati cerobong. Tipe dan kandungan mineral di dalam batubara, suhu dari pembakaran batubara, jenis tungku pembakaran, proses pembakaran seperti perbandingan bahan bakar dan udara, cara pengumpulan dan

penyimpanan *fly ash* sebelum digunakan, menyebabkan *fly ash* yang dihasilkan dari suatu *power plant* pada satu daerah dengan daerah lainnya berbeda. Jadi tidak semua *fly ash* menguntungkan dan dapat digunakan sebagai campuran. Komponen terbesar yang terkandung dalam *fly ash* adalah silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), oksida kalsium (CaO) dan oksida besi (Fe_2O_3). *Fly ash* banyak digunakan dan diakui secara luas sebagai campuran *cement*, *concrete* dan material-material khusus lainnya. Densitas *fly ash* berkisar antara $1,3 \text{ g/cm}^3$ dan $4,8 \text{ g/cm}^3$, besar densitas tersebut tergantung dari unsur kimia dan porositas yang terjadi di dalamnya. Tabel 1 menunjukkan densitas dari kandungan *fly ash*.

Tabel 1. Densitas dari beberapa kandungan *fly ash* [Ref. 3 hal 10]

Constituent	Density
SiO_2	2.65
Al_2O_3	3.4 – 3.6
CaO	3.3 – 3.4
Fe_2O_3	5.3 – 5.4
$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$	2.8 – 3.0
Fe_3O_4	5.1 – 5.2
Coal	0.64 – 0.93

b) Dry Bottom Ash

Ini merupakan sisa pembakaran batu bara yang terdapat pada *dry bottom furnaces*. *Dry bottom ash* merupakan kumpulan abu kering yang ukurannya sekitar $19 \mu\text{m}$ sampai $75 \mu\text{m}$. Beberapa butirannya dapat dengan mudah dihancurkan dengan jari, butiran lainnya keras susah untuk dihancurkan dan membutuhkan peralatan untuk memecahnya. Berat spesifiknya berkisar antara 2,08 – 2,73. Kandungan kimia utamanya berupa silika (SiO_2), hematite (Fe_2O_3) dan alumina (Al_2O_3) dalam variasi ukuran tergantung pada sumber batubara yang dibakar. *Dry bottom ash* banyak digunakan pada produk *concrete* dan aplikasi teknik sipil lainnya.

c) Wet Bottom Boiler Slag

Merupakan sisa yang larut dalam *wet-bottom boiler* dan dikeluarkan melalui saluran air. Dibanding *dry bottom ash* ukuran butirnya lebih kecil dan butirannya mengkilap, selain itu sangat keras dan getas. Warnanya hitam dan berat spesifiknya sekitar 2,60 sampai 3,85 tergantung dari kandungan oksida besinya (Fe_2O_3). Komposisi kimia pada umumnya sama dengan *bottom ash*, dengan jumlah abu tergantung dari batu baranya. Komposisi kimia dari *wet bottom boiler slag* pada umumnya sama dengan komposisi kimia *dry bottom ash*. Aplikasi pemanfaatannya juga sama dengan *dry bottom ash*.

d) Economizer Ash

Economizer ash terdiri dari partikel kuarsa yang hampir sama dengan *fly ash*, diperoleh dari gas yang terperangkap pada boiler dengan menggunakan *electrostatic precipitator* dan *hopper* di bawah

economizer unit. Butirannya lebih halus dibandingkan dengan *bottom ash* maupun *wet bottom boiler slag*.

e) *Flue Gas Desulphurization (FGD)*

Merupakan hasil dari *Flue Gas Desulphurization (FGD)*, sering disebut sebagai *gypsum*. Serbuk batu kapur digunakan untuk menangkap SO_x dari gas keluaran. Karakteristiknya tergantung dari kandungan sulfat, sulfit dan kapur. FGD mempunyai potensi yang bagus untuk digunakan sebagai bahan konstruksi yang dikombinasikan dengan *fly ash*, batu kapur dan semen.

2Klasifikasi Fly Ash

Fly ash digolongkan menjadi dua macam menurut jenis batubara yang digunakan, yaitu tipe C dan F. *Fly ash* tipe C berasal dari hasil pembakaran batubara jenis *lignite* atau *sub-bituminous* sedangkan *fly ash* tipe F dihasilkan dari *anthracite* atau *bituminous*. Selain itu, klasifikasi *fly ash* dapat diketahui dari persentase komposisi kimia yang terkandung didalamnya. Tabel berikut menunjukkan komposisi kimia yang dibutuhkan untuk membedakan *fly ash* tipe F dan C.

Tabel 2. Klasifikasi *fly ash* [Ref. 9 hal. 2]

	Class	
	F	C
$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$, min. wt. %	70,0	50,0
SO_3 , max. wt. %	5,0	5,0
LOI, max. wt. %	6,0	6,0
Moisture content, max. wt. %	3,0	5,0

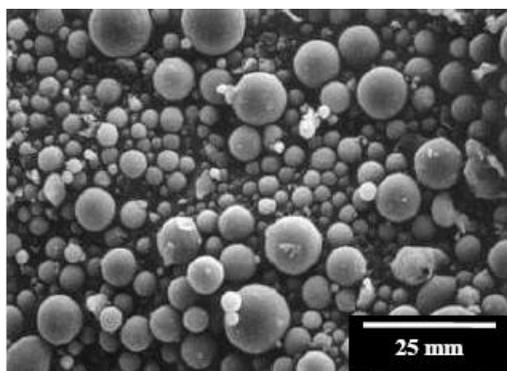
Karakteristik Fly Ash

Untuk mendapatkan manfaat dari *fly ash*, terlebih dahulu kita harus mengetahui karakteristik atau sifat-sifat yang terkandung di dalamnya. Karakteristik *fly ash* ini meliputi : Sifat fisik dan kimia [Ref. 1 hal. 18 - 23].

1. Sifat Fisik

a. *Particle Morphology*

Bentuk partikel dan sifat permukaan berbagai macam *fly ash* diamati dengan menggunakan *scanning electron microscope (SEM)*. Berikut adalah contoh gambar mikrofografi dari partikel *fly ash*.



Gambar 2. Partikel *fly ash* [Ref. 1 hal. 20]

Penggambaran SEM menunjukkan bahwa partikel *ash* tampak lebih berat dan terang dibandingkan dengan partikel carbon yang juga banyak terdapat dalam *fly ash*. Semakin kecil partikel *fly ash* maka bentuknya semakin bulat (*spherical*) dibandingkan dengan partikel yang besar.

b. *Fineness*

Tingkat kehalusan partikel *fly ash* dapat didefinisikan sebagai *specific surface area* dengan menggunakan *Blaine air permeability method*. Hal ini telah dilakukan oleh Joshi et al dalam menentukan sifat fisik 14 jenis *fly ash* yang terdapat di Kanada. Berikut adalah hasil penelitiannya.

Tabel 3. Sifat fisik *fly ash* Kanada [Ref. 1 hal. 20]

Coal Type	Source	Overall Apparent Specific Gravity	% Retained on 45 μm Sieve	Specific Surface Area (m^2/g)
Sub-bituminous	Alberta	2.19	32.0	0.42
Sub-bituminous	Alberta	1.92	26.0	0.46
Sub-bituminous	Alberta	1.91	22.0	0.43
Sub-bituminous	Alberta	2.03	9.8	0.59
Lignite	Saskatchewan	2.54	2.8	0.50
Sub-bituminous	Saskatchewan	2.15	20.4	0.22
Lignite	Saskatchewan	2.37	44.8	0.17
Lignite	Saskatchewan	2.39	26.6	0.22
Bituminous	Ontario	2.46	24.0	0.28
Bituminous	Ontario	2.31	27.0	0.25
Bituminous	New Brunswick	2.94	21.4	0.31
Bituminous	New Brunswick	2.87	26.4	0.18
Bituminous	Nova Scotia	2.53	28.2	0.36
Sub-bituminous	Nova Scotia	2.44	34.4	0.38

Untuk *fly ash* dari Kanada ini, besarnya *specific surface area* antara 0,17 - 0,59 m^2/g . Hal ini dikarenakan perbedaan distribusi ukuran butir, banyaknya *spongy minerallic particless* di dalam *fly ash*.

c. *Specific Gravity*

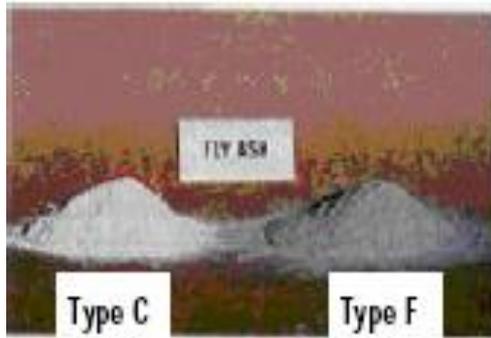
Secara umum besarnya *specific gravity fly ash* berkisar antara 1,3 - 4,8.

d. *Pozzolanic Activity*

Pozzolanic activity merupakan kemampuan komponen silika dan alumina dari *fly ash* untuk bereaksi dengan *calcium hydroxide* jika ditambahkan air untuk menghasilkan *highly cementitious water insoluble products*. *Pozzolanic activity* ini dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti *fineness*, unsur yang tak berbentuk (*amorphous matter*), komposisi kimia dan mineral serta karbon yang tidak terbakar atau LOI (*Loss on Ignition*) dari *fly ash*.

e. Warna

Fly ash tipe C berwarna lebih terang (putih) bila dibandingkan tipe F yang lebih gelap (abu-abu). Hal ini dikarenakan jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam *fly ash* tipe C lebih banyak daripada tipe F. Berikut adalah gambar kedua tipe *fly ash* tersebut.



Gambar 3. Bentuk fisik fly ash tipe C dan F [Ref. Hal.2]

2. Sifat Kimia

Sifat kimia fly ash sangat dipengaruhi oleh jenis batubara yang digunakan. Tabel berikut menunjukkan komponen kimia yang terkandung dalam fly ash dari berbagai macam batubara yang ada.

Tabel 4. Komposisi kimia fly ash dari beberapa jenis batubara [Ref. 11 hal.9]

Component	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
SiO ₂ (silica)	20 – 50	40 – 60	15 – 45
Al ₂ O ₃ (alumina)	5 – 35	20 – 30	10 – 25
Fe ₂ O ₃ (iron oxides)	10 – 40	4 – 10	4 – 15
CaO (calcium oxides)	1 – 12	5 – 30	15 – 40
MgO (magnesium oxides)	0 – 5	1 – 6	3 – 10
SO ₃ (sulphur oxides)	0 – 4	0 – 2	0 – 10
Na ₂ O (sodium oxides)	0 – 4	0 – 2	0 – 6
K ₂ O (pottasium oxides)	0 – 3	0 – 4	0 – 4
LOI (Loss on ignition)	0 – 15	0 – 3	0 – 5

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa fly ash yang berasal dari batubara jenis sub-bituminous dan lignite (fly ash tipe C) mempunyai kandungan alumina, calcium oxide dan magnesium oxide lebih banyak bila dibandingkan dengan fly ash yang berasal dari jenis bituminous (fly ash tipe F). Sedangkan fly ash tipe F memiliki kandungan silica dan iron oxide yang lebih banyak dibandingkan tipe C.

Untuk nilai LOI (Loss on ignition), fly ash tipe C memiliki nilai yang lebih besar bila dibandingkan tipe

F. LOI merupakan nilai besarnya jumlah karbon yang tidak terbakar di dalam fly ash. LOI ini digunakan sebagai indikator yang dapat menunjukkan apakah suatu fly ash itu cocok digunakan sebagai pengganti cement di dalam concrete.

Aluminium-Fly Ash (ALFA)

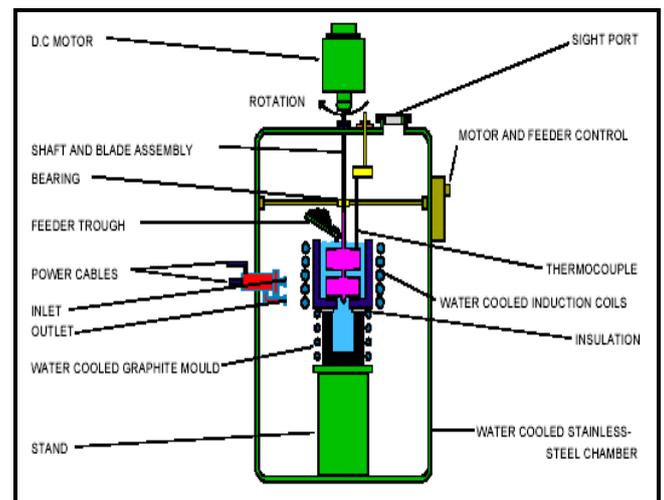
ALFA adalah Aluminium Matrix Composite dimana Aluminium sebagai matrixnya dan fly ash sebagai partikel penguatnya. Dengan kandungan kimia yang dimiliki memungkinkan fly ash untuk digunakan sebagai penguat pada AMC. Selain itu dengan harga yang murah dan dapat mengatasi masalah menumpuknya fly ash, penggunaan fly ash pada AMC sangat potensial untuk dikembangkan. Dan dengan penggunaan fly ash maka jumlah aluminium yang digunakan dapat dihemat.

Pembuatan ALFA

Secara umum ada 3 teknik pembuatan ALFA, yaitu: stir casting, powder metallurgy dan pressure infiltration. [Ref. 3 hal. 41-44]

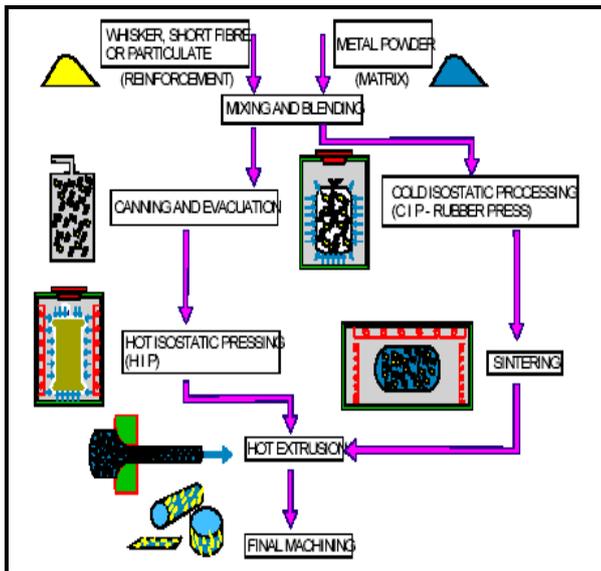
a. Stir Casting

Secara garis besar proses ini adalah mencampurkan bahan penguat ke dalam leburan metal dengan jalan mengaduknya. Gambaran proses ini dapat dilihat pada Gambar 2.8. Teknik ini mempunyai kelebihan dibanding yang lain yaitu harga relatif murah dan dapat membuat bentuk yang complex. Campurannya harus dileburkan dengan temperatur yang terkontrol dan fly ash ditambahkan pada aluminium yang telah melebur. Temperaturnya harus tetap dikontrol dan dijaga agar tetap diatas temperatur kritis sehingga dapat mencegah pembentukan campuran lain, yang dapat mempengaruhi fluidity larutannya. Pengadukan yang kontinyu akan dapat menimbulkan vortex sehingga penyebaran fly ash pada larutan dapat merata.



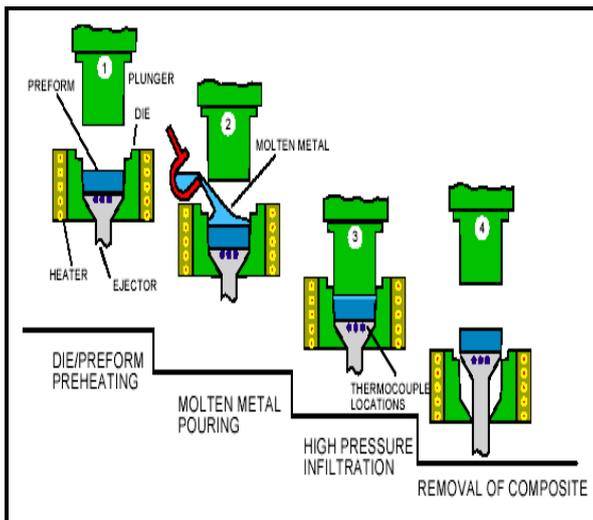
Gambar 4.. Alat stir casting [Ref. 5 hal. 20]

b. Powder Metallurgy



Gambar 5. Tahapan powder metallurgy [Ref. 5 hal.16]

c. Pressure Infiltration



Gambar 6. Skema pressure infiltration [Ref. 5 hal. 20]

Metode Pemisahan Fly Ash

Pemisahan *fly ash* digunakan untuk memisahkan senyawa-senyawa yang terkandung didalamnya. Proses pemisahan ini dilakukan karena kebutuhan penggunaan dari kandungan tersebut. Komponen dalam *fly ash* dapat dikategorikan menjadi: *silicates*, *iron oxides*, *low density silicates (cenospheres)* dan *unburned carbons*. Ada beberapa proses pemisahan dalam *fly ash*, yaitu: [Ref. 11 hal. 41-44]

1. Magnetic Separation

Proses ini digunakan untuk memisahkan komponen *iron oxide* dalam *fly ash*. Karena *fly ash* merupakan material yang bersifat paramagnetik yang sangat kuat.

2. Gravity Separation

Gravity separation dapat digunakan untuk memisahkan *cenosphere component*, yaitu partikel dengan densitas yang rendah.

3. Electrostatic separation

Dimanfaatkan sebagai pemisah partikel material dengan perbedaan konduktivitas elektrik.

4. Froth Flotation

Proses ini digunakan untuk memisahkan *unburned carbon*. Proses pemisahannya menggunakan air dan gelembung udara kemudian pada permukaan atas terdapat aliran sebagai *flotation* yang akan membawa *unburned carbon*.

Pengujian Material

Untuk mengetahui pengaruh penambahan *fly ash* pada aluminium perlu dilakukan beberapa pengujian mekanik antara lain pengujian keausan dan mikrografi. Sedangkan untuk mengetahui senyawa yang terkandung di dalam *fly ash* dilakukan uji komposisi.

Pengujian Keausan

Keausan pada material merupakan suatu peristiwa yang merugikan pada suatu system. Akan tetapi tidak selalu merugikan, seperti pada proses *forming* material contohnya *machining*. Ketika keausan dapat merugikan maka laju keausannya bisa dikurangi tetapi tidak bisa dihilangkan. Caranya dengan menambahkan pelumas, *design* yang teliti dan memilih material yang laju keausannya lambat. [Ref. 12 hal. 94]

Keausan dapat didefinisikan sebagai suatu proses terlepasnya suatu material dari permukaan padat akibat interaksi mekanis [Ref. 13 hal. 128]. Dimana pengaruh dari kedua interaksi tersebut dapat berakibat fatal terutama terjadinya keausan komponen mesin. Secara umum keausan dapat dibagi menjadi 4 macam [Ref. 13 hal. 129-132], yaitu:

1. Keausan adhesi (*adhesive wear*)
2. Keausan abrasi (*abrasive wear*)
3. Keausan korosi (*corrosive wear*)
4. Keausan lelah pada permukaan (*surface fatigue wear*)
- 5.

Pengujian Mikrografi

Pengujian mikrografi bertujuan untuk mengetahui struktur mikro dari suatu material uji, karena sifat fisik atau mekanik dari suatu material tergantung dari struktur mikronya. Disini digunakan mikroskop dan foto untuk memotret struktur permukaan material tersebut. Ada 2 macam pengujian struktur kristal yang biasa dilakukan yaitu pengujian makro dan pengujian mikro.

Pengujian Komposisi

Pengujian komposisi dilakukan untuk mengetahui unsur komposisi pembentuk dalam suatu bahan beserta jumlahnya yang terdapat di bahan tersebut. Teknik spektrometri atom merupakan teknik yang paling umum dipakai untuk analisis unsur. Teknik

ini didasarkan pada emisi dan absorpsi dari uap atom. Komponen kunci pada metode spektrometri atom adalah sistem (alat) yang dipakai untuk menghasilkan uap atom dalam sampel. Salah satu metode pengujian komposisi yang banyak digunakan adalah Spektrofotometri Serapan Atom (SSA) atau *Atomic Absorption Spectrophotometry* (AAS).

METODOLOGI PENELITIAN

Persiapan Peralatan dan Bahan Persiapan Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan selama proses penelitian adalah sebagai berikut :

1. Peralatan Pemisahan Secara Magnetik
2. Peralatan Pemisahan Secara Fluidisasi
3. Timbangan Digital
4. *Stir Casting*

1. *Stir Casting*

a. Heater

Heater berfungsi mempertahankan suhu material pada kondisi cair selama proses pengadukan. Heater ini mempunyai daya 2000 Watt 230 Volt.

b. Motor Listrik

Merupakan motor listrik AC induksi 2 kutub 3 fasa dengan daya ¼ HP. Torsi maksimal yang dihasilkan 0,61 Nm pada putaran 2820 rpm. Motor ini berfungsi untuk menggerakkan poros pengaduk.

c. Sabuk dan transmisi roda gigi

Sabuk dan transmisi roda gigi ini berfungsi memindahkan daya dari motor ke poros pengaduk. Sabuk V ini bertipe K dan transmisi roda giginya memiliki perbandingan 1 : 1.

d. Poros dan *Blade* Pengaduk

Poros dan *blade* pengaduk ini terbuat dari baja ST-40 yang dibentuk melalui proses permesinan. Poros dan *blade* ini berfungsi sebagai pengaduk *matrix* dan *reinforcement* yang berada di kowi dalam *heater*.

e. Rangka

Merupakan konstruksi yang menopang peralatan *stir casting*.

2. Dapur *crucible*

Dapur *crucible* ini menggunakan bahan bakar elpiji untuk meleburkan aluminium hingga cair dan mencapai suhu penuangannya.

3. Inverter

Inverter bermerek micromaster 410 siemens ini berfungsi untuk memvariasikan kecepatan putaran yang dihasilkan oleh motor listrik dengan kapasitas maksimum 0,5 HP.

4. *Thermocontrol* dan *Thermocouple*

Thermocontrol bermerek autonics tipe TZ4M dengan temperature kerja sampai 1300°C ini berfungsi untuk mengatur dan menjaga temperatur pengadukan antara *matrix* dengan *reinforcement*, sedangkan

thermocouple tipe K yang digunakan berfungsi sebagai sensor bagi *thermocontrol*-nya.

5. Cetakan

Cetakan ini terbuat dari logam dan berbentuk pelat dengan dimensi hasil corannya 14,7 x 7,8 x 1,2 cm. Volume cetakan dihitung dari jumlah volume pelat ditambah volume silinder (saluran masuk).

Volume cetakan = volume pelat + volume silinder

$$= p \times l \times t + \frac{\pi d^2 T}{4}$$

$$= (15 \times 8 \times 1,6) + \frac{(3,14 \times 2,2^2 \times 7,3)}{4}$$

$$= 219,736 \text{ cm}^3$$

Persiapan Bahan

Variasi presentase berat *fly ash* hasil proses pemisahan yang akan ditambahkan sebesar 5%, 10% dan 15% dari berat aluminium sebelum dilebur, berikut proses perhitungannya:

- Volume cetakan $V = 219,736 \text{ cm}^3$
- Massa jenis aluminium $\rho = 2,71 \text{ g/cm}^3$
- Berat aluminium $m = \rho \times V = 2,71 \times 219,736 = 595,485 \text{ g}$
- Asumsi kerak yang terjadi pada saat proses peleburan aluminium sebesar 30% dari berat aluminium, maka:
Berat kerak = 30% x 595,485 g = 178,645 g
- Berat aluminium + asumsi kerak = 595,485 + 178,645 = 774,130 g
- Perhitungan berat aluminium dan *fly ash* tiap variasi penambahan:
Berat aluminium (Al) = %aluminium x (berat aluminium + asumsi kerak)
Berat *fly ash* (FA) = % *fly ash* x berat aluminium

Hasil perhitungannya pada tabel berikut:

Tabel 5. Hasil perhitungan berat aluminium dan *fly ash*

No.	Variasi pengujian	Berat Al (g)	Berat FA (g)
1.	Al dengan penambahan 5% <i>fly ash</i>	735,423	29,774
2.	Al dengan penambahan 10% <i>fly ash</i>	696,717	59,548
3.	Al dengan penambahan 15% <i>fly ash</i>	658,010	89,323
Jumlah Total		2090,150	178,645

Aluminium dan *fly ash* hasil pemisahan tersebut ditimbang dengan menggunakan timbangan digital.

Proses Pemisahan *Fly Ash*

Proses pemisahan *fly ash* dibagi menjadi dua, proses yang pertama yaitu proses pemisahan secara magnetik untuk memisahkan senyawa *iron oxide* (Fe_2O_3) kemudian proses kedua adalah proses pemisahan *coal* (*unburned carbon*) dengan cara fluidisasi. *Fly ash* hasil pemisahan di atas sebagian besar mengandung senyawa silika (SiO_2) dan alumina (Al_2O_3) selanjutnya digunakan sebagai komposit aluminium menggunakan metode *stir casting*.

Proses Pengecoran

Langkah proses pengecoran yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1) Proses peleburan

Aluminium yang telah dipotong kecil-kecil dan ditimbang sesuai variasi presentase dimasukkan ke kowi di dalam dapur gas hingga mencair seluruhnya dan mencapai suhu penuangan. Peleburan berlangsung selama ± 30 menit. Kerak (kotoran) yang terjadi pada saat peleburan aluminium dibuang, sehingga tidak mengganggu pada saat proses *stir casting*.

2) Proses *stir casting*

Berikut adalah urutan proses pengerjaan *stir casting* :

- Heater* yang didalamnya terdapat kowi sebelumnya telah dipanaskan terlebih dahulu dan ditahan pada suhu $720^\circ C$ (dengan menggunakan *thermocontrol* dengan sensor *thermocouple*) sebelum aluminium cair dituang ke dalamnya.
- Aluminium cair yang telah mencapai suhu penuangan ($\pm 660^\circ C$) dan telah bersih dari kerak dituang ke kowi dalam *heater* sedikit demi sedikit dan diselingi dengan pemasukan *fly ash*.
- Heater* diposisikan sedemikian rupa sehingga poros pengaduk dapat mengaduk campuran Aluminium dan *fly ash*. *Thermocouple* juga diatur sedemikian rupa agar dapat mengukur suhu campuran dengan baik.
- Kemudian inverter dinyalakan dan di *setting* pada putaran 10 Hz (600 rpm). Campuran Al dan *fly ash* tersebut diaduk selama 10 menit dan dengan suhu pengadukan yang ditahan sebesar $\pm 720^\circ C$.
- Setelah diaduk kowi dikeluarkan dari *heater*

3) Proses pencetakan

Aluminium *fly ash* yang telah tercampur dituang ke dalam cetakan logam, kemudian dibiarkan sampai dingin pada suhu kamar. Setelah itu cetakan dibuka dan dibersihkan.

Pembuatan Spesimen

Pembuatan spesimen uji keausan dilakukan di laboratorium Metalurgi Fisik dan CNC Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Pertama hasil coran di bubut dengan bubut manual sampai mendekati diameter yang akan dicapai, setelah itu dibubut dengan mesin CNC untuk menghasilkan spesimen yang sempurna. Kemudian spesimen diamplas sehingga akan diperoleh kekasaran yang diinginkan. Spesimen yang akan digunakan ditunjukkan pada Gambar 3.14. Setelah itu spesimen yang sudah jadi disimpan dalam tempat tertutup yang diberi butiran silika agar tidak teroksidasi. Bentuk spesimennya berupa silinder yang ujungnya berbentuk setengah bola.

Pengujian Spesimen

Pengujian keausan dilakukan di laboratorium metalurgi Teknik Mesin S1 UNDIP. Untuk melakukan pengujian keausan perlu diperhatikan metode pengujian yang akan dilakukan dan peralatan yang akan digunakan. Alat uji yang digunakan berdasarkan metode *pin on disk* [Ref. 21] ditunjukkan pada Gambar 3.16. Spesimen berbentuk *spherical ended pin* dan disk yang terbuat dari aluminium yang diselimuti amplas no 400 merek RIKEN karena pengujian ini merupakan pengujian keausan abrasif. Kemudian spesimen pin tersebut digesekkan pada permukaan disk untuk jenis material yang berbeda dan juga dilakukan variasi panjang lintasan.

Untuk pengujian mikrofografi dilakukan di Laboratorium Metalurgi Fisik Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang dengan menggunakan mikroskop bermerek Olympus U-MSSP4.

PENGOLAHAN DATA DAN PEMBAHASAN

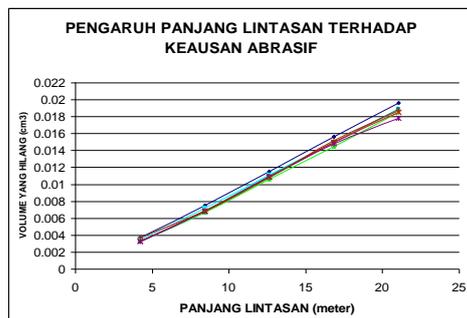
No	PANJANG LINTASAN (meter)	MASSA YANG HILANG (gram)			
		ALUMINIUM TANPA FLY ASH*	ALUMINIUM 5% FLY ASH*	ALUMINIUM 10% FLY ASH*	ALUMINIUM 15% FLY ASH*
1	4,208	0,0103	0,0099	0,0093	0,0091
2	8,416	0,021	0,0204	0,0191	0,0199
3	12,624	0,0321	0,0316	0,0303	0,0313
4	16,832	0,0436	0,0424	0,0414	0,0428
5	21,04	0,055	0,0537	0,0527	0,0538

No	PANJANG LINTASAN (meter)	VOLUME YANG HILANG (cm ³)			
		ALUMINIUM TANPA FLY ASH* ($\rho = 2,801\text{gr/cm}^3$)	ALUMINIUM 5% FLY ASH* ($\rho = 2,853\text{gr/cm}^3$)	ALUMINIUM 10% FLY ASH* ($\rho = 2,848\text{gr/cm}^3$)	ALUMINIUM 15% FLY ASH* ($\rho = 2,844\text{gr/cm}^3$)
1	4,208	0,0037	0,0035	0,0033	0,0032
2	8,416	0,0075	0,0072	0,0067	0,0069
3	12,624	0,0115	0,0111	0,0106	0,011
4	16,832	0,0156	0,0149	0,0145	0,015
5	21,04	0,0196	0,0188	0,0185	0,0189

No	PANJANG LINTASAN (meter)	MASSA YANG HILANG (gram)		
		ALUMINIUM 5% SEPARASI FLY ASH	ALUMINIUM 10% SEPARASI FLY ASH	ALUMINIUM 15% SEPARASI FLY ASH
1	4,208	0,0091	0,0091	0,0102
2	8,416	0,019	0,0187	0,0191
3	12,624	0,0301	0,0301	0,0298
4	16,832	0,0412	0,0406	0,0419
5	21,04	0,0508	0,0489	0,0517

No	PANJANG LINTASAN (meter)	VOLUME YANG HILANG (cm ³)		
		ALUMINIUM 5% SEPARASI FLY ASH ($\rho = 2,742\text{ gr/cm}^3$)	ALUMINIUM 10% SEPARASI FLY ASH ($\rho = 2,744\text{ gr/cm}^3$)	ALUMINIUM 15% SEPARASI FLY ASH ($\rho = 2,763\text{ gr/cm}^3$)
1	4,208	0,0033	0,0033	0,0037
2	8,416	0,0069	0,0068	0,0069
3	12,624	0,0109	0,0109	0,0108
4	16,832	0,015	0,0148	0,0152
5	21,04	0,0185	0,0178	0,0187

Pengujian Keausan



Gambar 7. Grafik pengaruh panjang lintasan terhadap keausan (volume yang hilang) terhadap beberapa material

Analisa Grafik

Dari gambar 7 enunjukkan bahwa dengan bertambahnya panjang lintasan, maka keausan akan semakin meningkat. Semua material dalam pengujian

menunjukkan kecenderungan yang sama. Artinya keausan akan meningkat sebanding dengan lama gesekan. Selain itu dengan bertambahnya panjang lintasan material akan mengalami lelah. Dan ternyata nilai keausan aluminium fly ash setelah melalui separasi lebih kecil dibanding aluminium murni dan aluminium fly ash tanpa pemisahan.

Berdasarkan persamaan (3.1), maka laju keausan untuk tiap-tiap material dapat dihitung sebagai berikut :

$$W_r = \frac{V}{P.x} \text{ (mm}^3\text{/kg-m)}$$

Laju Keausan Material Aluminium Tanpa Fly Ash Untuk panjang lintasan V dimana x = 21,04 meter

$$W_r = \frac{V}{P.x} = \frac{19,6\text{mm}^3}{0,9345\text{kg}.21,04\text{m}} = 0,9969$$

mm³/kg-m

Tabel 6. Data laju keausan

NO	PANJANG LINTASAN	LAJU KEAUSAN (Wr)(mm ³ /kg-m) P = 0,9345 kg			
		ALUMINIUM TANPA FLY ASH	ALUMINIUM 5% FLY ASH	ALUMINIUM 10% FLY ASH	ALUMINIUM 15% FLY ASH
1	4,208	0,9409	0,89	0,8392	0,8138
2	8,416	0,9536	0,9155	0,8519	0,8773
3	12,624	0,9748	0,9409	0,8985	0,9324
4	16,832	0,9918	0,9409	0,8985	0,9324
5	21,04	0,9969	0,9562	0,9409	0,9613

NO	PANJANG LINTASAN	LAJU KEAUSAN (Wr)(mm ³ /kg-m) P = 0,9345 kg		
		ALUMINIUM 5% FLY ASH MELALUI SEPARASI	ALUMINIUM 10% FLY ASH MELALUI SEPARASI	ALUMINIUM 15% FLY ASH MELALUI SEPARASI
1	4,208	0,8392	0,8392	0,9409
2	8,416	0,8773	0,8646	0,8773
3	12,624	0,9239	0,9329	0,9155
4	16,832	0,9536	0,9409	0,9663
5	21,04	0,9409	0,9053	0,9511

Berdasarkan persamaan (3.3), maka laju keausan untuk tiap-tiap material dapat dihitung sebagai berikut :

$$R_w = \frac{1}{W} \text{ (kg-m/mm}^3 \text{)}$$

Ketahanan Aus Material Aluminium Tanpa Fly Ash

$$R_w = \frac{1}{W} = \frac{1}{0,9969} = 1,0031 \text{ kg-m/mm}^3$$

Ketahanan Aus Material Aluminium-5% Fly Ash

$$R_w = \frac{1}{W} = \frac{1}{0,9562} = 1,0458 \text{ kg-m/mm}^3$$

Ketahanan Aus Material Aluminium-10% Fly Ash

$$R_w = \frac{1}{W} = \frac{1}{0,9409} = 1,0628 \text{ kg-m/mm}^3$$

Ketahanan Aus Material Aluminium-15% Fly Ash

$$R_w = \frac{1}{W} = \frac{1}{0,9613} = 1,0403 \text{ kg-m/mm}^3$$

Ketahanan Aus Material Aluminium-5% Fly Ash melalui separasi

$$R_w = \frac{1}{W} = \frac{1}{0,9409} = 1,0628 \text{ kg-m/mm}^3$$

Ketahanan Aus Material Aluminium-10% Fly Ash melalui separasi

$$R_w = \frac{1}{W} = \frac{1}{0,9053} = 1,1046 \text{ kg-m/mm}^3$$

Ketahanan Aus Material Aluminium-15% Fly Ash melalui separasi

$$R_w = \frac{1}{W} = \frac{1}{0,9511} = 1,0514 \text{ kg-m/mm}^3$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari pengujian ini dapat disimpulkan bahwa pemisahan Fe₂O₃ dan coal dari fly ash meningkatkan ketahanan aus dari aluminium. Selain itu diketahui pula bahwa material yang memiliki ketahanan aus paling tinggi adalah aluminium 10% fly ash melalui separasi dengan nilai 1,1046 kg-m/mm³, dengan peningkatan ketahanan aus 0,1015 kg-m/mm³.

Saran

- Sebaiknya digunakan timbangan untuk mengukur berat spesimen dengan skala terkecil yang lebih tinggi.
- Perlu dibuat alat pemisah Fe₂O₃ dan coal yang lebih efektif untuk menghindari hilangnya unsur fly ash yang masih dibutuhkan.
- Untuk mendapatkan perbandingan yang ideal pada penelitian selanjutnya hendaknya parameter-parameter pada pengujian tetap dipertahankan
- Dapat dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan persentase fly ash pada aluminium sehingga dihasilkan ketahanan aus yang maksimum.

DAFTAR PUSTAKA

- American Coal Ash Association. 1996. "Coal Combustion Product-Production and Use". Alexandria, Virginia.
- "Coal Ash Beneficiation and Utilization in Coal Separation Process". China.
- D. Callister, William. 1994. *Materials Science and Engineering 4th ed.* Canada: John Willey and Sons, Inc.
- Departement of Defense. 2002. "Metal Matrix Composites: Composite Materials Handbook". United States of America.
- Gikunoo, Emmanuel. 2004. "Effect of Fly Ash Particles on the Mechanical Properties and Microstructure of Aluminium Casting Alloy A535". Thesis. Canada: University of Saskatchewan Saskatoon.
- H.S. Bawa.1986. *Materials and Metalurgy* . McGraw-Hill Book Company
- H. Van Vlack, Lawrence. 1989. *Ilmu dan Teknologi Bahan edisi 5*. Diterjemahkan oleh Sriati Djaprie. Jakarta: Erlangga.