

PENGUJIAN MEKANIK DAN FISIK PADA *METAL MATRIX COMPOSITE* (MMC) ALUMINIUM *FLY ASH*

Agus Suprihanto, Budi Setyana¹⁾

Abstrak

Fly ash (abu terbang) merupakan salah satu hasil sisa (limbah) batubara yang diperoleh dari penyaringan gas yang dikeluarkan dari saluran pembuangan pada suatu *power plant*. Berton-ton *fly ash* yang semakin menumpuk setiap tahunnya dibiarkan begitu saja sehingga menimbulkan polusi bagi lingkungan bahkan manusia. Oleh sebab itu diperlukan solusi untuk menaggulangi masalah ini. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa ternyata *fly ash* ini mempunyai sifat fisik dan kimia yang berguna dalam material konstruksi dan industri. Aluminium yang merupakan salah satu material yang banyak digunakan manusia di jadikan sebagai matriks bagi pemanfaatan *fly ash* yang salah satunya berfungsi sebagai partikel penguat (*reinforcement*). Penggunaan *fly ash* ini diharapkan dapat meningkatkan sifat mekanik dari aluminium.

Untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan *fly ash* ini terhadap sifat mekanik aluminium maka dalam tugas sarjana ini dilakukan pengujian tarik, dampak dan kekerasan, sedangkan pengujian koefisien muai linear, konduktivitas termal dan densitas dilakukan sebagai pengujian sifat fisik, dimana sebelumnya dilakukan proses pembuatan komposit aluminium *fly ash* dengan metode *stir casting*. Dengan menggunakan variasi awal persentase berat *fly ash* sebesar 5%, 10% dan 15%, dapat diketahui bahwa nilai kekuatan tarik, dampak dan kekerasan cenderung meningkat seiring dengan semakin besar persentase penambahan *fly ash* dan terjadi penurunan nilai koefisien muai, konduktivitas termal dan densitas seiring dengan semakin besar persentase penambahan *fly ash*.

Kata Kunci : *Fly ash*, aluminium, batubara, kekuatan tarik, kekuatan dampak, kekerasan, koefisien muai linear, konduktivitas termal, densitas

PENDAHULUAN

Fly ash merupakan limbah dari pembakaran batubara. Seiring dengan meningkatnya penggunaan batubara sebagai bahan bakar di dalam dunia industri, maka berton-ton *fly ash* yang dihasilkan dapat menimbulkan masalah bagi lingkungan, seperti pencemaran udara, perairan dan penurunan kualitas ekosistem.

Diharapkan pemanfaatan *fly ash* ini menjadi suatu solusi penyelesaian masalah lingkungan yang ditimbulkan dan dapat meningkatkan nilai ekonomi dari *fly ash* tersebut.

Beberapa tahun terakhir ini banyak dikembangkan aluminium *fly ash* sebagai komposit matriks logam. Aluminium yang dikenal sebagai logam yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, penghantar listrik yang baik digunakan sebagai matriks sedangkan *fly ash* berfungsi sebagai penguat. Penggunaan *fly ash* ternyata dapat menghasilkan aluminium komposit dengan sifat mekanik yang baik dengan biaya murah yang dapat bersaing dengan komposit sejenis lainnya.

DASAR TEORI

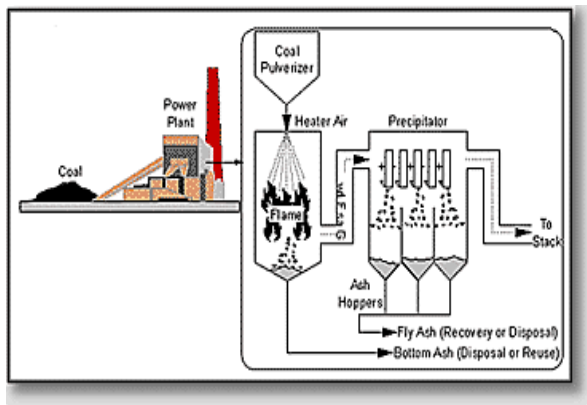
Aluminium merupakan logam ringan yang mempunyai ketahanan korosi yang baik, mudah dibentuk dan penghantar listrik yang baik serta sifat-sifat yang baik lainnya sebagai sifat suatu logam.

Sebagai tambahan terhadap kekuatan mekaniknya yang sangat meningkat dengan penambahan Cu, Mg, Si, Mn, Zn, Ni dan lain sebagainya secara satu persatu atau bersama-sama memberikan juga sifat-sifat baik lainnya, seperti ketahanan terhadap korosi, ketahanan aus, koefisien pemuaian yang rendah dan lain sebagainya. Material ini dipergunakan di dalam bidang yang luas bukan saja untuk peralatan rumah tangga tapi juga dipakai untuk keperluan material pesawat terbang, mobil, kapal laut, konstruksi dan lain-lain.

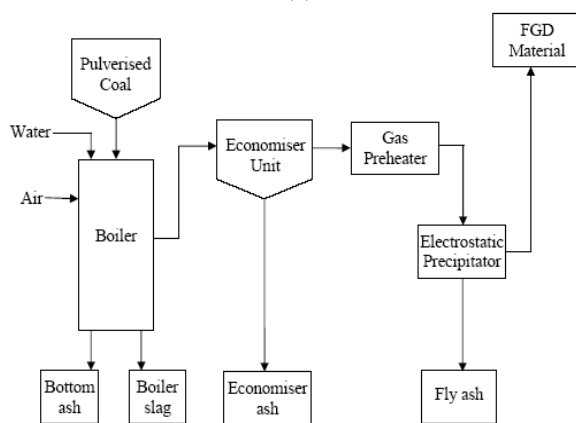
Fly ash (abu terbang) merupakan produk sisa dari pembakaran batubara yang dipisahkan dari saluran pembuangan gas batubara pada suatu *power plant* menggunakan *precipitator*. *Fly ash* ini tentu saja dapat menyebabkan polusi jika dibiarkan menumpuk begitu saja. Berdasarkan hasil penelitian, ternyata *fly ash* ini dapat dimanfaatkan diberbagai bidang, salah satunya sebagai material penguat (*reinforcement*) dalam *metal matrix composite* (MMC) [Ref. 1 hal. 1].

Selain *fly ash* juga terdapat abu dasar (*bottom ash*), *wet bottom boiler slag*, *economizer ash* dan *flue gas desulphurization* sebagai zat sisa (limbah) pembakaran batubara. Gambar 1 menunjukkan proses terbentuknya *fly ash* mulai dari batu bara hingga menjadi *fly ash* dan proses terbentuknya *by-products* di dalam suatu *power plant*.

¹⁾ Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin FT-UNDIP



(a)



(b)

Gambar 1 (a) Proses terbentuknya *fly ash* dan *bottom ash* [Ref. 9] (b) diagram blok terbentuknya *fly ash* [Ref. 1 hal. 7]

Berdasarkan laporan *Energy Information Administration* di tahun 2002, jumlah total produksi batubara di seluruh dunia mencapai 5,6 milyar metrik ton dan sekitar 60 %-nya digunakan sebagai pembangkit listrik. Sedangkan *coal combustion by-product* dari batubara ini sebesar 544,3 juta metrik ton dengan jumlah *fly ash* sebesar 453,6 juta metrik ton [Ref. 1 hal. 11 - 12].

Permasalahan ini tentu saja harus diselesaikan oleh seluruh negara pengguna batubara. Pemanfaatan kembali zat-zat sisa ini merupakan solusi terbaik yang harus dilakukan, beberapa alasannya sebagai berikut :

1. Meminimalisasi pengotoran lingkungan (polusi) yang akan membahayakan tumbuh-tumbuhan dan hewan serta gangguan kesehatan bagi manusia.
2. Semakin sempitnya lahan yang diperlukan sebagai tempat pembuangan limbah-limbah tersebut.
3. Memungkinkan untuk mendapatkan keuntungan dari penjualan *fly ash*, sekurang-kurangnya dapat menutup biaya pengolahannya.
4. Penggunaan *fly ash* dapat mengganti dan mengurangi pemakaian beberapa sumber daya alam dalam suatu produk seperti material aluminium (sebagai material penguat dalam paduan aluminium).

Pemanfaatan *fly ash* yang telah dilakukan adalah :

1. Sebagai campuran *cement* pada pembuatan bendungan, tanggul air, dermaga dan konstruksi jalan raya.
2. Sebagai material tahan api yang ringan dan ubin yang tahan terhadap temperatur yang tinggi.
3. Sebagai material penguat pada aluminium *metal matrix composite (MMC)* yang bertujuan meningkatkan kekuatan dan menjadikannya lebih ringan. Komposit yang dihasilkan ini telah banyak digunakan dalam industri otomotif dan penerbangan. Selain itu digunakan sebagai material pengisi seperti pada *asphalt, plastik, paint* dan produk karet.
4. Digunakan dalam perawatan air dan sebagai pengikat tumpahan minyak dan zat kimia di perairan.

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* [Ref. 1 hal. 15]. Selain itu, klasifikasi *fly ash* dapat diketahui dari persentase komposisi kimia yang terkandung didalamnya. Tabel 1 berikut menunjukkan komposisi kimia yang dibutuhkan untuk membedakan *fly ash* tipe F dan C.

Tabel .1 Komposisi kimia pembeda *fly ash* tipe F dan C [Ref. 1 hal. 16]

Parameter	Class F	Class C
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ , min. wt. %	70	50
SO ₃ , max. wt. %	5	5
LOI, max. wt. %	6	6
Moisture content, max. wt. %	3	5

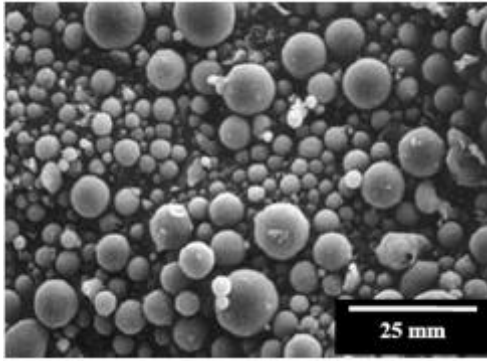
Untuk mendapatkan manfaat dari *fly ash*, terlebih dahulu kita harus mengetahui karakteristik atau sifat-sifat yang terkandung di dalamnya. Karakteristik *fly ash* ini meliputi : Sifat fisik dan kimia [Ref. 1 hal. 18 - 23].

1. Sifat Fisik

a. Particle Morphology

Bentuk partikel dan sifat permukaan berbagai macam *fly ash* diamati dengan menggunakan *scanning electron microscope (SEM)*. Gambar 2 menunjukkan mikrofografi dari partikel *fly ash*.

Bentuk partikel dan sifat permukaan berbagai macam *fly ash* diamati dengan menggunakan *scanning electron microscope (SEM)*. Gambar 2 menunjukkan 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 karbon yang juga banyak terdapat dalam *fly ash*. Semakin kecil partikel *fly ash* maka bentuknya semakin bulat (*spherical*) dibandingkan dengan partikel yang besar.

b. Fineness

Fineness atau 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 seperti ditabelkan pada tabel 2.

Tabel 2 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 . Perbedaan yang terjadi dikarenakan adanya perbedaan distribusi ukuran butir, banyaknya *spongy minerallic particless* di dalam *fly ash*.

c. Specific Gravity

Secara umum besarnya *specific gravity fly ash* berkisar antara 1,91 – 2,94.

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. Sifat kimia *fly ash* sangat dipengaruhi oleh jenis batubara yang digunakan. Tabel 3 berikut menunjukkan komponen kimia yang terkandung dalam *fly ash* dari berbagai macam batubara yang ada.

Tabel 3 Komposisi kimia *fly ash* dari beberapa jenis batubara [Ref. 9 hal. 8]

Component	Bituminous	Sub-bituminous	Lignite
SiO ₂	20 – 50	40 – 60	15 – 45
Al ₂ O ₃	5 – 35	20 – 30	10 – 25
Fe ₂ O ₃	10 – 40	4 – 10	4 – 15
CaO	1 – 12	5 – 30	15 – 40
MgO	0 – 5	1 – 6	3 – 10
SO ₃	0 – 4	0 – 2	0 – 10
Na ₂ O	0 – 4	0 – 2	0 – 6
K ₂ O	0 – 3	0 – 4	0 – 4
LOI	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* merupakan salah satu contoh dari *metal matrix composite* (MMC), dimana aluminium sebagai matriks dan *fly ash* sebagai partikel penguatnya. Penggunaan *fly ash* dalam komposit aluminium ini memberikan banyak keuntungan, yaitu mengurangi limbah padat pada *power plant*, sehingga memberikan nilai tambah bagi *fly ash*. Selain itu *fly ash* dapat meningkatkan sifat material dengan biaya yang rendah, seperti berkurangnya densitas dan koefisien ekspansi, meningkatnya kekerasan dan keatahanan aus dari matriks aluminium yang digunakan. Penghematan energi dalam proses manufaktur juga dapat dicapai karena pengurangan penggunaan aluminium yang digantikan dengan *fly ash*.

Pembuatan Aluminium Fly Ash

Pembuatan aluminium *fly ash* ini dibedakan menjadi tiga cara yaitu *stir casting*, *powder metallurgy* dan *pressure infiltration* [Ref. 1 hal.41 - 43]. Berikut adalah penjelasan dari secara umum dari ketiga cara tersebut.

a. Stir Casting

Metode *stir casting* merupakan proses utama dalam produksi material komposit, dimana material penguat disatukan bersama logam cair dengan cara diaduk (*stirring*). Untuk menghasilkan kualitas komposit yang baik, proses *stirring* harus berlangsung kontinyu untuk mempertahankan partikel penguat tetap terdispersi merata dalam logam cair (matriks). Dalam proses ini, campuran dilebur dan temperaturnya dikontrol dengan menggunakan *thermocontroller*, lalu dimasukkan *fly ash*. Temperatur dari campuran harus dikontrol dibawah suhu kritis untuk menghindari pembentukan senyawa lain yang dapat mengakibatkan fluiditas yang buruk pada cairan. Adanya *vortex* pada saat proses pengadukan meyebabkan partikel *fly ash* yang ringan terdispersi merata dalam matriks sampai campuran tersebut dipindah kedalam cawan tuang dan dituang kedalam cetakan permanen.

b. Powder Metallurgy

Powder Metallurgy merupakan suatu proses yang melibatkan penguatan *powder* dari logam dan bahan penguat pada temperatur yang tinggi dengan cara penekanan tempa (*forging press*). Setelah dikeringkan pada temperatur 110°C, aluminium dan serbuk *fly ash* dicampur dengan menggunakan *rotary drum*, kemudian variasi persentase jumlah *fly ash* yaitu 5% sampai 10% berat dimasukkan ke dalam *rotary drum*. Setelah itu sampel dari aluminium *fly ash* dipadatkan dengan tekanan yang berbeda-beda yaitu antara 138 MPa sampai 414 MPa dengan menggunakan mesin *unaxial hydraulic press*. Aluminium *fly ash* yang telah dipadatkan, dimasukkan ke dalam pipa silika yang transparan dan di sintering pada suhu 625°C dan 645°C selama 2,5 jam dan 6 jam pada kedua temperatur tersebut.

c. Pressure Infiltration

Pressure infiltration adalah suatu proses dimana tekanan hidrostatik diberikan pada permukaan cairan matriks sehingga tetap cair, kemudian dibentuk di dalam cetakan.

Proses ini diawali dengan mencampurkan *cenosphere* dan *precipitator ash* dengan menggunakan *Mono Aluminium Phosphate (MAP)*. Kemudian hasilnya dituang ke dalam cetakan dan dibiarkan kering pada suhu 204°C selama 24 jam, yang kemudian dipanaskan kembali pada suhu 815°C selama 5 jam. Lalu hasil campuran tersebut dituangkan ke dalam cetakan yang bertemperatur 840°C dan diberikan tekanan sebesar 10 Mpa sampai 17 MPa pada bagian permukaan campuran logam cair selama 10 menit.

Untuk persentase *fly ash* yang lebih besar, metode *pressure infiltration* ini lebih disukai karena

distribusi dari partikel *fly ash* lebih seragam (*uniform*) dibandingkan dengan metode-metode sebelumnya.

Metodologi Penelitian

Persiapan Peralatan dan Bahan

Adapun peralatan yang digunakan selama proses penelitian adalah sebagai berikut :

1. Stir Casting



Gambar 3 Peralatan stir casting

- Heater
- Motor Listrik
- Sabuk dan transmisi roda gigi
- Poros dan *Blade* Pengaduk
- Rangka

2. Dapur Crucible

3. Inverter

4. Thermocontrol dan Thermocouple

5. Cetakan Logam

Persiapan Bahan

Adapun bahan yang digunakan adalah aluminium dan *fly ash*. Aluminium diperoleh dari potongan-potongan lis, tralis yang tidak terpakai lagi. Sedangkan *fly ash* merupakan *by product* dari PLTU Suralaya Jawa Barat, dimana batubaranya berasal dari Berau Kalimantan Timur. Gambar 4 menunjukkan bahan pembuatan spesimen.



Gambar 4. Potongan aluminium dan *fly ash*

Persentase berat awal *fly ash* sebesar 5%, 10% dan 15%. Tabel 4 berikut menunjukkan komposisi pencampurannya.

Tabel 4. Komposisi pencampuran

Variasi pengujian	Al (g)	FA (g)
Al tanpa <i>fly ash</i>	561,549	-
Al + 5% <i>fly ash</i>	533,472	21,598
Al + 10% <i>fly ash</i>	505,394	43,196
Al + 15% <i>fly ash</i>	477,317	64,794

Proses Pengecoran

Langkah-langkah selama proses pengecoran yang dilakukan adalah sebagai berikut :

1) Proses peleburan

Aluminium yang telah dipotong kecil dan ditimbang dimasukkan ke kowi di dalam dapur gas hingga seluruhnya mencair dan mencapai suhu penguangan. Peleburan berlangsung \pm selama 30 menit. Kerak (kotoran) yang terjadi dan mengapung pada saat aluminium sudah mencair dibuang.

2) Proses *stir casting*

Urutan proses pengerjaan *stir casting* :

1. *Heater* yang didalamnya terdapat kowi sebelumnya telah dipanaskan terlebih dahulu dan ditahan pada suhu 720°C (dengan menggunakan *thermocontrol* dengan sensor *thermocouple*) sebelum aluminium cair dituang ke dalamnya.
2. Aluminium cair yang telah mencapai suhu penguangan (\pm 760 °C) dan telah bersih dari kerak dituang ke kowi dalam *heater* sedikit demi sedikit dan diselingi dengan pemasukan *fly ash*.
3. *Heater* diposisikan sedemikian rupa sehingga poros pengaduk dapat mengaduk campuran Al dengan *fly ash*. *Thermocouple* juga diatur sedemikian rupa agar dapat mengukur suhu campuran dengan baik.
4. 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 °C.
5. Setelah diaduk, kemudian kowi dikeluarkan dari *heater* dan *fly ash* yang tampak mengapung dibuang.

Jenis Spesimen	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)
Aluminium tanpa <i>Fly ash</i>	5,68	3,60	0,98
ALFA 5%	5,66	3,64	0,99
ALFA 10%	5,67	3,63	1,00
ALFA 15%	5,67	3,61	1,01

Proses pencetakan

Aluminium *fly ash* yang telah tercampur dituang ke dalam cetakan logam yang sebelumnya telah dipanaskan di dalam dapur hoffman, kemudian dibiarkan sampai dingin pada suhu kamar. Setelah itu

cetakan dibuka dan dibersihkan. Gambar 5 berikut menunjukkan hasil coran spesimen uji.



Gambar 5. Hasil coran aluminium *fly ash*

Pembuatan dan Pengujian Spesimen

1. Uji tarik
 - ASTM B557M untuk *subsize* spesimen
 - mesin uji tarik bermerek controlab model TN-MD
2. Uji impak
 - ASTM E 23
 - mesin uji impak bermerek controlab model CP 300
3. Uji kekerasan
 - ASTM E 10
 - *Universal Hardness Tester DMF-15* bermerek Controlab dengan sebesar 31,25 kgf, diameter penetrator 2,5 mm, dilakukan selama 30 detik
4. Uji koefisien muai linear
 - Berbentuk silinder, dengan dimensi ditunjukkan pada tabel 5.

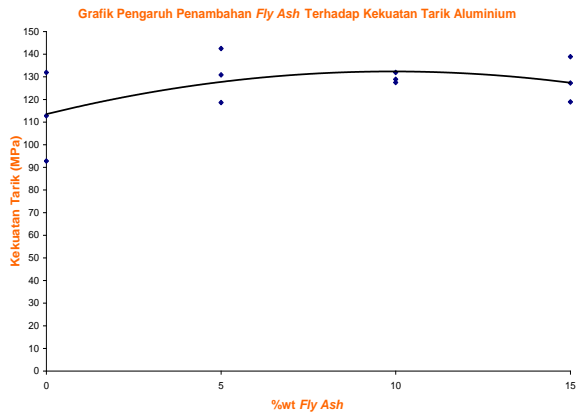
Tabel 5. Dimensi spesimen uji koefisien muai linear

Jenis Spesimen	Panjang (mm)	Diameter (mm)
ALFA 5%	31,7	5,8
ALFA 10%	32,1	5,7
ALFA 15%	32	5,65

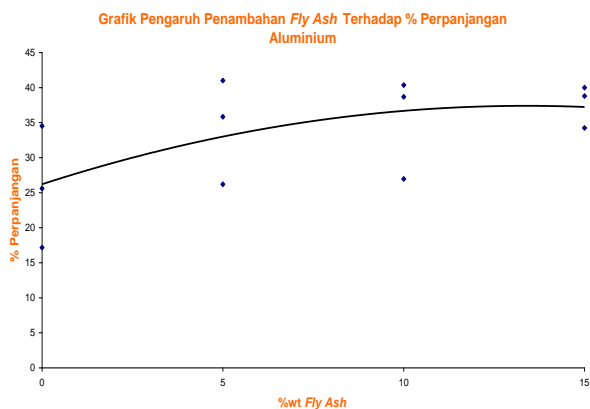
- Pengujian menggunakan alat *Netzch Dilatometer Type 402 EP*
- 5. Uji konduktivitas termal
- 6. Uji densitas
 - Menggunakan spesimen uji kekerasan
 - Alat uji *Automatic Densimeter*
- 7. Foto mikro
 - Menggunakan mikroskop PME 3 Olympus dengan perbesaran 500x.

Pengolahan Data dan Pembahasan

Hasil pengujian tarik menunjukkan bahwa kekuatan tarik dan perpanjangan spesimen uji terpengaruh terhadap besarnya komposisi fly ash. Gambar 6 dan 7 berikut menunjukkan grafik korelasi antara kekuatan tarik dan perpanjangan dengan persentase *fly ash*.



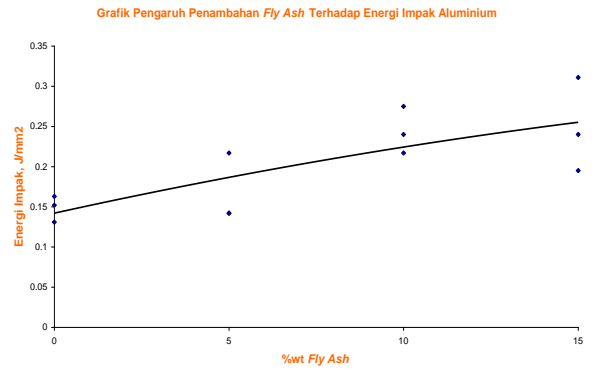
Gambar 6. Grafik pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kekuatan tarik aluminium



Gambar 7. Grafik pengaruh penambahan *fly ash* terhadap % perpanjangan aluminium

Untuk penambahan 5, 10 dan 15% *fly ash* menyebabkan naiknya kekuatan tarik sebesar 16,13%, 15,06% dan 14,07% dan naiknya perpanjangan sebesar 33,33%, 37,16% dan 46,27%.

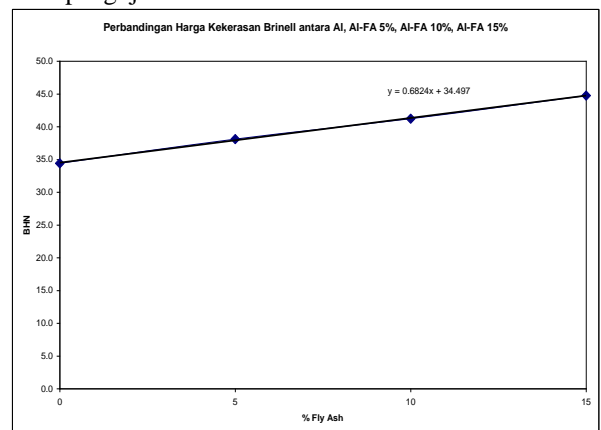
Hasil pengujian dampak menunjukkan bahwa energi dampak cenderung naik dengan semakin besarnya persentase *fly-ash* yang ditambahkan. Gambar 8 berikut menunjukkan grafik antara energi dampak terhadap persentase *fly-ash*.



Gambar 8. Grafik pengaruh penambahan *fly ash* terhadap energi dampak aluminium

Penambahan 5, 10 dan 15% *fly ash* menyebabkan naiknya kekuatan/energi dampak sebesar 12,33%, 64,12% dan 67,26%.

Hasil pengujian kekerasan menunjukkan bahwa semakin besar penambahan *fly-ash* maka semakin meningkat kekerasannya. Gambar 9 menunjukkan data hasil pengujian kekerasan.



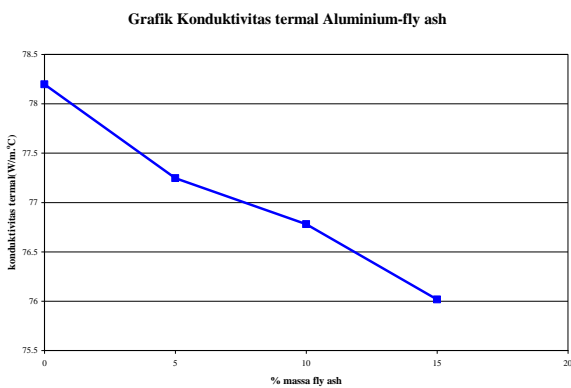
Gambar 9. Grafik pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kekerasan aluminium

Penambahan 5, 10 dan 15% *fly ash* menyebabkan naiknya kekerasan brinell sebesar 10,76%, 19,85% dan 30,02%.

Hasil pengujian pemuai menunjukkan bahwa penambahan 5, 10 dan 15% *fly ash* menyebabkan menurunnya harga koefisien muai linear sebesar 4,66%, 1,90% dan 6,47%.

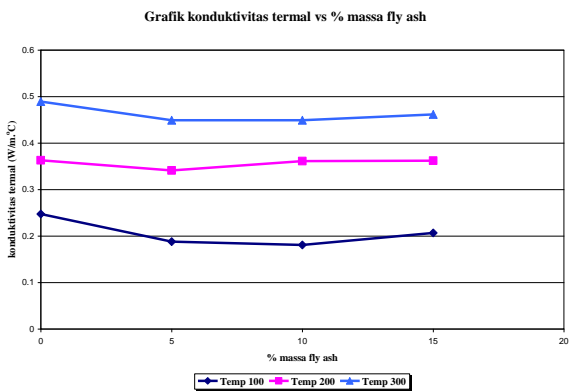


Gambar 10. Grafik pengaruh penambahan *fly ash* terhadap harga koefisien muai linear aluminium



Gambar 11. Grafik pengaruh penambahan *fly ash* terhadap konduktivitas termal aluminium

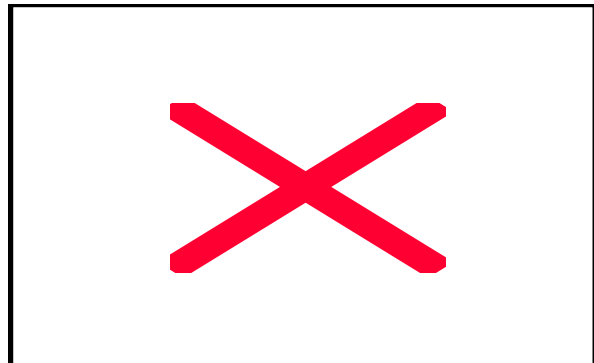
a) Untuk spesimen berbentuk pelat



Gambar 12. Grafik pengaruh penambahan *fly ash* terhadap konduktivitas termal aluminium

Penambahan 5, 10 dan 15% *fly ash* menyebabkan menurunnya konduktivitas termal aluminium. Untuk spesimen berbentuk silinder penurunannya sebesar 1,21%, 1,81% dan 2,78%. Pada spesimen berbentuk pelat pada suhu 100°C penurunannya sebesar 24,13%, 26,85% dan 16,39% dan pada suhu 200°C sebesar 6,03%, 0,4% dan 0,16% serta pada suhu 300°C sebesar 8,15%, 8,16% dan 5,67%. Gambar 11 dan 12 berturut-turut menunjukkan grafik pengaruh penambahan *fly-ash* terhadap

konduktivitas panas spesimen berbentuk silinder dan pelat.



Gambar 13. Grafik pengaruh penambahan *fly ash* terhadap densitas aluminium

Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa penambahan *fly-ash* menyebabkan penurunan densitas seperti ditunjukkan pada gambar 13. Penambahan 5, 10 dan 15% *fly ash* menyebabkan menurunnya densitas sebesar 1,18%, 0,35% dan 0,67%.

Meningkatnya kekuatan tarik, dampak dan harga kekerasan aluminium terjadi seiring dengan semakin besarnya penambahan persentase jumlah *fly ash* yang berfungsi sebagai partikel penguat. Tetapi terlihat pada pengujian tarik dan dampak, variasi hasil pengujian cukup besar. Hal ini dapat dikarenakan penyebaran partikel *fly ash* pada matriks aluminium tidak merata. Pengadukan (*stirring*) yang tidak baik selama *stir casting*, sifat kemampuan lekat yang jelek dari *fly ash* terhadap aluminium, serta proses penuangan yang tidak kontinyu dapat menyebabkan tidak meratanya pencampuran antara *fly ash* dengan aluminium.

Pada pengujian fisik terlihat bahwa nilai koefisien muai linear, konduktivitas termal dan densitas menurun seiring dengan penambahan persentase berat *fly ash*. Penurunan nilai koefisien muai linear dengan bertambahnya prosentase *fly ash* menyebabkan ikatan atom yang terjadi dalam material tersebut menjadi semakin kuat. Dengan meningkatnya ikatan atom maka jarak pemisahan diantara atom-atom akibat energi getaran termal atom akan semakin kecil. Sehingga untuk beberapa aplikasi MMC pada suhu tinggi, nilai koefisien muai linear yang semakin kecil ini akan sangat menguntungkan. [Ref. 6 hal. 647].

Penurunan nilai konduktivitas termal akibat penambahan *fly ash* dapat disimpulkan karena semakin kecilnya ukuran butir atau semakin banyaknya batas butir yang terjadi sebagai akibat penambahan *fly ash* sebagai material pengisi. Dengan semakin kecilnya ukuran butir maka jika kalor melewati batas butir akan terhambat oleh daerah transisi, baru setelah itu perambatan kalor dilanjutkan ke butir berikutnya.

KESIMPULAN

Dari pengolahan dan analisa data pengujian mekanik dan fisik spesimen aluminium *fly ash* hasil proses *stir casting* dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai kekuatan tarik, impak dan harga kekerasan (sifat mekanik) aluminium meningkat seiring dengan semakin besarnya penambahan persentase jumlah *fly ash*
2. Nilai koefisien muai linear, konduktivitas termal dan densitas (sifat fisik) aluminium menurun seiring dengan penambahan persentase berat *fly ash*.
3. Hasil pengujian mikrografi menunjukkan semakin banyaknya jumlah *fly ash* pada matriks aluminium seiring dengan penambahan persentasenya dan persebarannya tidak merata.
4. Metode *stir casting* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk membuat *metal matrix composite Al fly ash*

DAFTAR PUSTAKA

1. Emmanuel, Gikunoo, 2004, “ *Effect of Fly Ash Particles on the Mechanical Properties and Microstructure of Aluminium Casting Alloy A535* “, *University of Saskatchewan Saskatoon, Saskatchewan Canada.*
2. Matthews, F. L and Rawlings, R. D, 1999, “ *Composites materials : Engineering and Science* “, *Woodhead publishing limited, Cambridge England.*
3. Surdia, T dan Saito, S, “ *Pengetahuan Bahan Teknik* “, Pradya Paramita, Jakarta.
4. E. Dieter, George, 1987, “ *Metalurgi Mekanik* ”, Jilid 1, diterjemahkan oleh Sriati Djaprie, Erlangga, Jakarta.
5. D. Callister, William, 1994, “ *Materials Science and Engineering* “, John Willey and Sons, Inc, Canada.
6. H.E. Davis, G.E Troxell, C.T. Wiskocil, 1964, “ *The Testing and Inspection of Engineering Materials* “, McGraw-Hill Book Company, New York.
7. B. C. Agrawal and S. P. Jain, 1982, “ *A Textbook Of Metallurgical Analysis* “, 4th edition, Delhi, Khanna.
8. *American Coal Ash Association*, 1996, “ *Coal Combustion Product – Production and Use* “, Alexandria Virginia.
9. *Indian Energy Sector*, 2003, “ *Managing Fly Ash* “, India.
10. Kalpakjian, S, 1995, “ *Manufacturing Engineering and Technology 3rd edition*, Addison Wesley Publishing Co,
11. *Standard Methods of Tension Testing Wrought and Cast Aluminium and Magnesium Alloy Products, ASTM Designation B557M.*
12. *Standard Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials, ASTM E 23*
13. J. Hartomo, Anton. 1992. *Komposit Metal.* Cetakan ke-3, Andi Offset Yogyakarta.
14. Rohatgi, P.K and Weiss, D, 2002, “ *Energy and Materials Savings Through Cast Aluminium – Fly Ash Composites* “, University of Wisconsin Melwaukee, Milwaukee
15. *Fly Ash in Concrete Panel Tech. Internaional*
16. ASM, Vol.9. 1995. *Metallography and Microstructures.* ASM International Hand Book, United of States.
17. Mudasir, 1999, “*Hand out Pelatihan Instrumentasi AAS*”, Proyek QUE Program Studi Kimia MIPA UGM, Yogyakarta.