

STRUKTUR MIKRO CORAN KOMPOSIT Al 6061 + ABU BATUBARA SETELAH PERLAKUAN T6

Zainun Ahmad¹, Edi Santoso²

¹Fakultas Teknik, Universitas 17 agustus 1945 Surabaya
e-mail : zaainunahmad@gmail.com

²Fakultas Teknik, Universitas 17 agustus 1945 Surabaya
e-mail : edi_santoso_talo@yahoo.com

Abstract

Heat treatment on the aluminum alloy is done by heating until a single phase was then arrested a few moments and forwarded by rapid cooling to not have time to change to another phase. If the material was left for a certain period of time then there was the process of aging (aging). Changes will occur in the form of precipitation (precipitation) The second phase begins with the onset of nucleation and atom clusters that became the beginning of the precipitates. This precipitates can increase the strength and hardness. This process is the age hardening process called natural aging. If after rapid cooling then heated again to below the solvus temperature (solvus line) then detained in the long term and followed by slow cooling in the air called artificial aging process (artificial aging). This study aims to determine the microstructure of what is formed from a material with a temperature variation of aging (200°C, 225°C, 250°C) and holding time (8 hours, 12 hours, 16 hours) to determine how much influence the variables, can be analyzed through testing SEM EDXA. From the test results of SEM-EDXA it can be determined microstructure formed in 6061 + Al composite coal bottom ash, which is composed of aluminum oxide compound of Al₂O₃ and MgO.

Keywords: *microstructure, composites, coal bottom ash*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Aluminium dalam struktur komposit dapat berasal dari bahan polimer, logam, maupun keramik. Aluminium yang dikenal sebagai logam yang mempunyai sifat ringan, tahan korosi, penghantar listrik yang baik digunakan sebagai matriks sedangkan abu bara berfungsi sebagai penguat. Penggunaan abu bara sebagai penguat untuk menghasilkan aluminium komposit dengan sifat mekanik yang baik dengan biaya murah yang dapat bersaing dengan komposit sejenis lainnya. Perubahan fasa untuk menambah kekuatan dari sifat mekanis dari logam yang digunakan dalam komposit tersebut salah satu caranya yaitu dengan melakukan perlakuan panas. Perlakuan panas pada logam dapat mengubah struktur mikro dan kekerasan dari logam sehingga akan berpengaruh terhadap sifat mekanisnya. Dengan perlakuan panas dapat membentuk sifat logam sesuai dengan penggunaan dari logam tersebut.

Definisi dari struktur mikro adalah konstituen yang dimiliki oleh material, seperti fasa, inklusi, endapan dll (P. Ganguly dan Warren J. Poole, 2002).

Struktur mikro itu sangat penting untuk diketahui karena akan mempermudah untuk proses pembentukan, dan berpengaruh pada tegangan alir material.

Dalam penelitian ini material yang digunakan adalah komposit Al 6061 + abu batubara, komposit tersebut sudah dapat diproduksi dengan metode has (Harjo 2005). Karena ini merupakan komposit baru dan belum diketahui struktur mikronya, maka penulis akan mengetahui struktur mikronya dengan data yang didapat dari pengujian SEM-EDXA.

▪ Karakterisasi

Pengujian sem-edxa dengan standart uji jis G 0555 (1956)

Tujuan penelitian untuk mendapatkan struktur mikro coran komposit Al 6061+ abu batubara setelah mendapat perlakuan T6 dengan variasi temperature dan waktu tahan.

1.2. Tinjauan pustaka

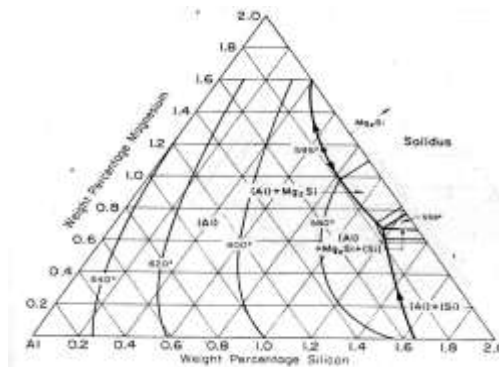
1.2.1. Pengaruh penguatan material terhadap strukturmikro

Salah satu yang perlu ditinjau dalam teknologi bahan komposit adalah memperbaiki kekuatannya. Dimana perlakuan panas adalah salah satu proses untuk mendapatkan sifat-sifat tertentu dari logam atau paduannya. Dimana sifat-sifat tersebut berbeda dengan sifat awalnya sebelum pelaksanaan proses perlakuan panas. Pada paduan aluminium dilakukan pemanasan hingga terjadi fasa tunggal dan didinginkan dengan cepat, tujuan pendinginan cepat adalah agar tidak sempat terjadi fasa lain atau fasa kedua. Paduan masih tetap berupa larutan fasa tunggal. Sifatnyapun belum mengalami perubahan masih tetap lunak dan ulet. Perubahan akan terjadi setelah beberapa saat yaitu setelah mulai terjadi presepitasi, fasa kedua dalam kristal larutan padat. Presepitasi ini akan mulai terjadi beberapa saat setelah paduan di dinginkan cepat, pengerasan seperti ini dinamakan *age hardening* karena pengerasan terjadi dengan timbulnya presepitasi.

Proses presepitasi *hardening* atau *age hardening* ini dapat dibagi menjadi dua tahap

- *Solution treatment* yaitu memanaskan paduan hingga diatas *solvus line* dan mendinginkan kembali dengan cepat (*quenching*)
- Aging yaitu menahan pada suatu temperatur tertentu (temperatur kamar atau temperatur dibawah garis *solvus line*) selama waktu tertentu.

Perubahan sifat yang terjadi pada akhir proses perlakuan panas disebabkan oleh terjadinya perubahan struktur mikro logam tersebut selama proses pemanasan dan pendinginan. Besarnya struktur mikro ini sangat dipengaruhi oleh komposisi kimia dari logam atau paduannya serta jenis perlakuan panas yang dialaminya, maka dari itu jenis proses perlakuan panas terbagi atas, perlakuan panas yang menyebabkan perubahan struktur mikro diseluruh bagian logam yang dikenal dengan *heat treatment*.



Gambar 1 Diagram fasa Al Mg Si

1.2.2. Pengaruh temperatur dan waktu tahan terhadap paduan

Pengendapan partikel-partikel fasa kedua menyangkut suatu proses difusi yang sangat tergantung pada temperatur dan waktu, karena itu maka temperatur maupun waktu aging merupakan dua parameter yang penting dalam proses pengerasan endapan.

Selama berlangsungnya proses aging, kekerasan dan kekuatan tarik bahan akan meningkat dan mencapai nilai maksimum sewaktu partikel-partikel endapan koheren mencapai distorsi dan ukuran yang optimal. Jika ukuran partikel-partikel itu terlalu kasar maka jarak antar partikel akan terlalu jauh sehingga tidak efektif lagi dalam menahan pergerakan dislokasi.

Pada temperatur tinggi, gerakan atom-atom dalam struktur kisi larutan padat akan lebih cepat, sehingga pembentukan partikel-partikel hingga mencapai distribusi dan ukuran yang optimal akan berlangsung lebih cepat. Dengan demikian maka nilai maksimum dalam grafik kekerasan dan kekuatan tarik akan terjadi pada waktu yang lebih singkat dengan meningkatnya temperatur pengendapan. Tetapi dengan naiknya temperatur pengendapan ini maka jumlah endapan-endapan yang terbentuk akan berkurang.

Pada proses aging ini umumnya dihentikan setelah sifat-sifat optimum itu tercapai dan paduan aluminium dikatakan telah mengalami pengerasan penuh. Jika proses aging terus dilakukan maka nilai kekerasan akan menurun, gejala ini dikenal dengan nama lewat sepuh (*over aging*). *Over aging* terjadi karena adanya endapan fasa kedua yang setimbang dimana endapan memiliki struktur yang tidak koheren dengan matrik.

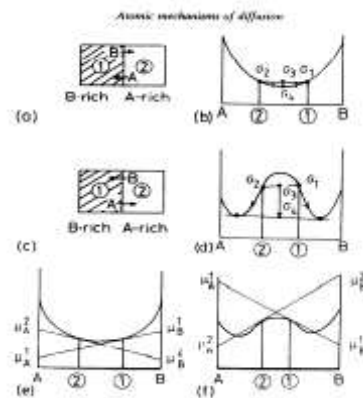
1.2.3. Mekanisme difusi

Terdapat dua mekanisme umum dimana atom dapat berdifusi melalui suatu benda padat, dan mekanisme operatifnya tergantung pada tipe lokasi yang ditempati dalam kisi-kisi/*lattice*, sedangkan atom substitusional biasanya berdifusi dengan mekanisme kekosongan, sedangkan atom *interstitial* yang lebih kecil berpindah dengan menembus jalannya diantara atom – atom besar. Umumnya suatu atom substitusional dalam suatu kristal berosilasi di sekitar tempat tertentu dan dikelilingi oleh atom-atom yang bersebelahan dalam tempat yang serupa. Energi getaran rata-rata yang dimiliki tiap atom adalah $3 kT$, sehingga akan meningkat sesuai dengan suhu. Karena frekuensi rata-rata getaran mendekati konstan, energi getaran akan meningkat dengan bertambahnya amplitudo osilasi. Umumnya pergerakan suatu atom substitusional dibatasi oleh atom tetangganya dan atom tidak dapat bergerak ke tempat lain. Bagaimanapun, jika suatu tempat yang berdampingan kosong, dapat terjadi lompatan atom ke tempat yang kosong tersebut, khususnya diakibatkan oleh osilasi yang sangat kuat. Ini di gambarkan di Gambar. 2. Perhatikan bahwa agar lompatan muncul, atom yang diarsir dalam Gambar. 2b harus berpisah untuk menciptakan cukup ruang yang dilewati oleh atom yang berpindah. Sehingga kemungkinan adanya atom yang lompat ke suatu tempat kosong tergantung pada kemungkinan perolehan energi getaran yang memadai. Kecepatan atom yang dapat berpindah melalui benda padat jelas akan ditentukan oleh frekuensi yang digunakan untuk memasuki kekosongan, dan ini sebaliknya tergantung pada konsentrasi kekosongan pada benda padat. Akan ditunjukkan bahwa baik probabilitas lompatan maupun konsentrasi kekosongan bersifat sangat sensitif terhadap temperatur.

Difusi terjadi agar penurunan energi bebas *gibbs* selalu di hasilkan. Sebagai gambaran sederhana, perhatikan Gambar 2 Dua buah kotak yang merupakan campuran padat (*solid solution*) a – b yang sama, namun dengan komposisi yang berbeda dilas menjadi satu dan diletakkan pada suhu cukup tinggi hingga terjadi difusi rentang panjang. Jika diagram energi bebas molar dari logam campuran seperti pada Gambar 2b, energi bebas molar tiap bagian logam campuran adalah G_1 dan G_2 dan pada awalnya energi bebas total kotak yang dilas adalah G_3 . Bagaiman jika difusi terjadi seperti ditunjukkan Gambar 2a agar perbedaan konsentrasi di hilangkan, energi bebas akan menurun kearah G_4 , yaitu energi bebas logam cairan homogen. Jadi dalam kasus ini penurunan energi bebas di hasilkan oleh atom a dan b yang berdifusi/menyebar dari bagian berkonsentrasi tinggi kebagian yang berkonsentrasi rendah, yakni ke bawah gradien konsentrasi. Dalam system logam campuran yang mengandung daya

larut logam yang berbeda/*miscibility gap*, kurva energi bebas dapat memiliki lengkung negatif pada suhu rendah. Jika kurva energi bebas dan komposisi untuk logam campuran a – b pada Gambar 2a digambarkan seperti Gambar 2d, atom a dan b akan menyebar/berdifusi ke arah bagian berkonsentrasi tinggi, yakni ke atas gradien konsentrasi, seperti di perlihatkan Gambar 2c. Bagaimanapun, ini masih merupakan proses paling alami dimana energi bebas kembali berkurang dari G_3 ke G_4 .

Seperti terlihat di Gambar 2e dan f, atom a dan b menyebar dari arah yang potensial kimianya tinggi ke daerah potensial kimianya rendah, yakni ke bawah gradien potensial kimia pada kedua kasus. Dalam praktek, kasus pertama yang disebut di atas jauh lebih umum dari pada kasus kedua, dan biasanya dianggap bahwa difusi terjadi ke bawah gradient konsentrasi. Namun terlihat bahwa hal ini hanya benar – benar terjadi dalam kondisi – kondisi khusus, dan karena itu sebenarnya lebih baik menyatakan tenaga pendorong/penggerak untuk difusi dalam hubungannya dengan gradien potensial kimia. Difusi berhenti jika potensial kimia semua atom dimana – mana semua sama dan sistem berada dalam kesetimbangan. Tetapi karena perbedaan konsentrasi lebih mudah diukur daripada perbedaan potensial kimia, bagaimanapun akan lebih sesuai untuk menghubungkan difusi dengan gradien konsentrasi.



Gambar 2 Mekanisme difusi

1.2.4. Distribusi partikel penguat

Jenis penguat dari suatu material komposit sangat berpengaruh pada sifat-sifat material tersebut, selain itu ukuran dari partikel penguat juga sangat berpengaruh pada kekuatan/ketangguhan suatu material komposit, hal ini disebabkan karena beban yang diterima oleh suatu material komposit akan didistribusikan keseluruh permukaan material penguat, sehingga semakin kecil ukuran partikel penguat maka luas permukaan akan menjadi lebih besar sehingga menyebabkan kekuatan material menjadi meningkat (**Harjo 2005**).

Penguat berfungsi sebagai pendistribusi beban sekaligus penerima beban, sehingga komposisi penguat di dalam suatu material komposit sangat berpengaruh pada kekuatan material tersebut. Pada eksperimen ini, penguat yang digunakan berasal dari abu batubara yaitu sisa abu hasil pembakaran batu bara., partikel abu batubara ini sangat ringan yaitu antara 0,4 sampai dengan 0,6 gr/cm^3 sehingga diharapkan mendapat suatu material yang lebih ringan dengan karakteristik material yang lebih baik. Keuntungan lain dalam penggunaan abu batubara sebagai penguat dari material komposit adalah :

1. Tahan terhadap temperatur tinggi
2. Mudah untuk difabrikasi
3. Harga yang sangat ekonomis karena merupakan limbah hasil produksi
4. Sangat ringan

Unsur utama dari abu batubara adalah karbon, karena bersumber dari alam yang mengandung unsur-unsur mineral tanah yaitu silika, alumina, oksida besi, dapur alkali, belerang dan air. Kebanyakan partikel abu batubara seperti kaca, padat, berbentuk butiran kecil yang cukup halus dan mempunyai warna dari abu-abu sampai dengan hitam.

Tabel 1 Analisa kimia abu batubara

Analisa kimia	Persen (%)
SiO ₂	56,0 – 62,7
Al ₂ O ₃	17,9 – 24,3
Fe ₂ O ₃	6,4 – 9,1
Ti O ₂	0,1 – 1,1
CaO	2,7 – 4,1
MgO	1,1 – 1,9
Na ₂ O	0,4 – 2,3
K ₂ O	0,5 – 0,8
P ₂ O ₅	0,2 – 0,4
S O ₃	2,3 – 8,9
Mn ₃ O ₄	0,007 – 0,008

Sumber : PT. Tambang Batubara Bukit Asam (Persero)

Mempunyai kualitas yang beragam tergantung jenis batu bara, efisiensi pembakaran, dimensi tungku dari pembakaran, dan cara penangkapan abu batubara dari pembakaran batubara.

1.2.5. Metode pengujian metallography (JIS G 0555)

Metallography adalah suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop elektron.

Penyelidikan struktur mikro tersebut berkisar antara 10^{-6} cm (batas kemampuan elektro mikroskop) hingga 10^{-2} (batas kemampuan untuk manusia). Obyek pengamatan yang biasa digunakan yaitu 10^{-5} cm atau pembesaran 100 kali untuk mikroskop optis.

Pengamatan metallography didasarkan pada perbedaan intensitas sinar pantul permukaan logam yang kedalam mikroskop. Apabila terhadap permukaan logam yang telah dihaluskan (*polish*) dicelupkan ke cairan kimia (etsa), maka permukaan logam tersebut akan dilarutkan dan apabila seberkas sinar tersebut akan dipantulkan sesuai dengan orientasi sudut permukaan bidang yang terkena. Agar permukaan logam dapat diamati maka permukaan logam tersebut terlebih dahulu dilakukan persiapan sebagai berikut : pemotongan specimen, *Grinding* dan *polishing* serta etsa

1.2.6. SEM – EDXA (Scanning Elektron Microscope & Energy Dispersive X-Ray Absorbtion)

SEM adalah suatu alat yang telah dipakai dalam ilmu pengetahuan untuk menganalisa data, komposisi biologi dan material fisik. Sedangkan eds merupakan suatu teknik yang memberikan informasi suatu data yang berhubungan dengan sem. Pada bagian eds dilengkapi dengan detektor jenis yang berbeda, antara lain :

- EDXA detektor
- Si (Li)
- *Backscattered*
- *Cathodeluminesence*

SEM – EDXA digunakan untuk menandai struktur dan komposisi yang berhubungan dengan unsur suatu senyawa. Metode ini menggabungkan data secara kuantitatif, kualitatif,

struktural atau komparatif. *SEM – EDXA* juga memberikan gambaran distribusi dari unsur yang berasal dari phase material dan bio-aktif material.

Pada analisa kuantitatif dapat diketahui komposisi unsur dari material dengan tingkat ketelitian yang tinggi. Analisa data yang dikonversikan dengan cara komposisi penyinaran yang berbeda dari unsur kedalam konsentrasi unsur. Berkas elektron harus berpusatkan pada benda uji. Metode kualitatif akan menghasilkan macam dari unsur yang teradapat dalam benda uji dan metode struktural juga akan tersaji dalam gambaran lengkap dengan komposisinya.

SEM-EDXA bekerja dalam kondisi tingkat kehampaan yang tinggi berkas elektron yang dihasilkan pada intensitas sampai dengan 300 kali mengenai permukaan material dan menciptakan elektron sekitar kemudian berkas elektron akan diterima dan diterjemahkan dalam gambar resolusi tinggi, dengan pembesaran 250000 kali. Interaksi yang terjadi pada material dengan berkas elektron akan mengakibatkan ionisasi pada bagian dalam atom dengan emisi. Panjang gelombang atau analisis pada sinar rontgen yang dipantulkan akan diubah menjadi data kuantitatif (masing-masing unsur akan menyebar pada suatu partikel gelombang spesifik). Elektron yang melawan energi dari sinar rontgen langsung diidentifikasi oleh eds untuk mengukur ketepatan unsur dari material. Sistem pencahayaan pada sem digunakan kawat pijar tunggal konvensional, dan untuk alat yang terbaru menggunakan *lanthice hexaboride* yang dapat memberikan hasil yang lebih baik.

Jarak aktif (wd) yang digambarkan sebagai jarak antara potongan kutub dengan specimen. Edx detektor dirancang untuk menjaga specimen berada pada jarak yang telah ditetapkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Variabel penelitian

Variabel untuk penelitian ini adalah variasi temperatur dengan waktu tahan (*holding time*). Dan untuk mempermudah proses penelitian ini maka tiap material diberikan kode. Hal ini bertujuan supaya tidak terjadi kekeliruan. Pengkodean pada specimen disajikan pada Tabel 3.1

Tabel 2 Kode specimen

Kode Specimen	Temperatur	Waktu tahan
A1	200°c	8 jam
A2	200°c	12 jam
A3	200°c	16 jam
B1	225°c	8 jam
B2	225°c	12 jam
B3	225°c	16 jam
C1	250°c	8 jam
C2	250°c	12 jam
C3	250°c	16 jam

2.2. Peralatan eksperimen

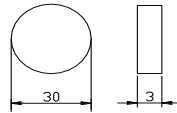
2.2.1. Peralatan untuk preparasi sampel

1. Ragum
2. Gerinda
3. Gergaji
4. Kertas gosok
5. Mesin perkakas

2.2.2. Peralatan pengujian

Mesin uji struktur mikro (sem-eds) dengan standard uji JIS G 0555 (1956)

2.2.3. Skema benda uji



Gambar 3 Specimen uji SEM-EDXA

2.2.4. Langkah penelitian

Untuk mengetahui struktur mikro dari paduan Al 6061-Abu batubara setelah mengalami proses *heat treatment* maka dilakukan pengujian :

▪ Uji struktur mikro

Pengamatan struktur mikro dilakukan agar diperoleh gambaran dari tiap-tiap proses perlakuan panas, sehingga dapat dianalisa perubahan yang terjadi pada tiap proses perlakuan panas.

Tahapan sebelum uji struktur mikro adalah :

1. Persiapan specimen

Material yang telah jadi dipotong menggunakan gergaji tangan. pada saat pemotongan memakai gergaji, material diberi cairan pendingin (air). Hal tersebut dilakukan agar material yang di potong tidak mengalami atau berubah sifat maupun strukturnya. Sedangkan dimensi dari specimen uji menurut ukuran standart uji.

2. Polishing

Cara pengosokan specimen uji dilakukan sedemikian rupa, sehingga permukaan halus. Sehingga mempermudah perolehan hasil yang diinginkan. Specimen uji tersebut dipoles atau digosok dengan amplas nomor. 200, 400, 600, dan paling halus 1000. langkah selanjutnya adalah penggosokan dilakukan dengan menekan specimen uji pada piringan *polisher* yang dilapisi kain pengosok yang ditaburi bubuk gamma alumina dengan kehalusan 0,05 mikron

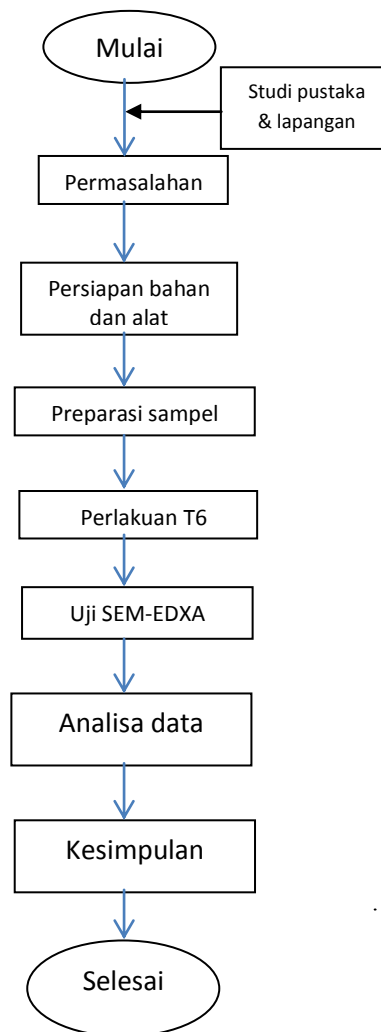
3. Etching

Proses mengetsa adalah meneteskan larutan kimia dengan meneteskan larutan HF 0,5 % pada permukaan specimen, selama 10 detik. Lalu dibilas dengan air, hal ini tujuannya untuk memperjelas gambar struktur mikro pada mikroskop.

4. Pengambilan foto struktur mikro

Pengambilan foto specimen yang telah dietsa selanjutnya diamati di bawah mikroskop dengan pembesaran yang sesuai.

2.2.5. Diagram alir





Gambar 4 Alat uji SEM - EDXA

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

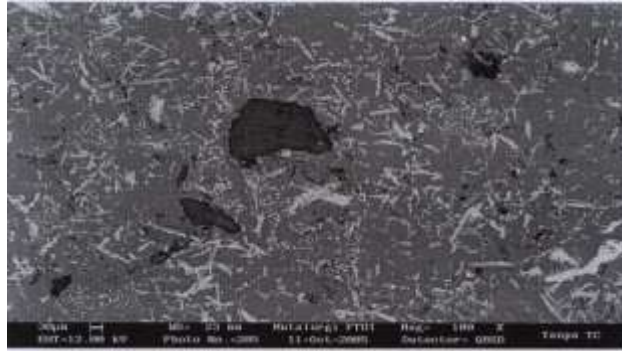
3.1. Pengaruh temperatur heat treatment terhadap struktur mikro

Sebelum dilakukan *heat treatment* jumlah dari butir cenderung banyak dan berukuran relatif kecil berbentuk *acicular*. Warna hitam pekat yang berbentuk *granular* tersebut adalah partikel abu batubara yang sebagian kecil tidak terlarut dalam matrik.

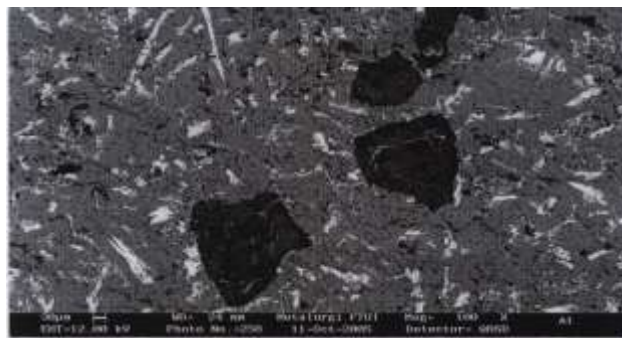
Dengan dilakukan proses *heat treatment* maka terjadi perubahan dalam bentuk maupun ukuran, dari butir yang tadinya *acicular* berukuran relatif kecil menjadi *acicular* berukuran sedang. Ini disebabkan oleh proses pengikatan yang terjadi, seiring dengan bertambahnya temperatur. Proses pengikatannya melibatkan difusi dari atom penguat (abu batubara) ke atom matrik (Al-6061) sehingga menimbulkan adanya batas butir. Hal tersebut terjadi ditempat dimana kontak antar partikel sangat besar dan akhirnya luas dari endapan menjadi lebih luas. Senyawa al-mg-abu batubara yang semula berbentuk seperti *acicular*.

Ketika material diberikan perlakuan *heat treatment* terjadi perubahan bentuk struktur mikro, antara lain adalah:

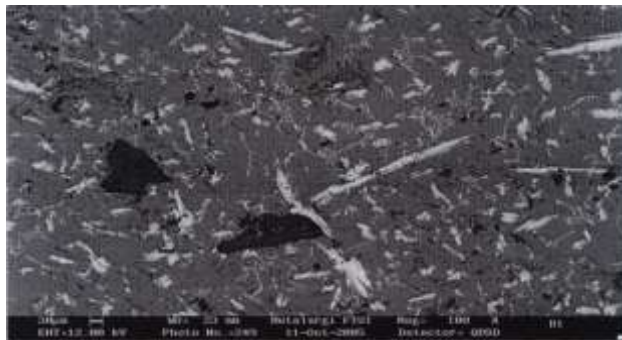
- a. Endapan yang sebelum diperlakukan *heat treatment* berwarna abu-abu cenderung putih Gambar 5, setelah di aging dengan waktu tahan 8 jam dan temperatur aging 200°C menjadi abu-abu cenderung gelap Gambar 6
- b. Bentuk dari butir yang berwarna putih berbentuk *acicular* berubah bentuk menjadi *angular*.
- c. Partikel abu batubara yang berbentuk *granular* terlihat pada temperatur tinggi hal ini disebabkan karena ada sebagian kecil dari abu batubara yang tidak terlarut dalam matrik (Al 6061) Gambar 7.



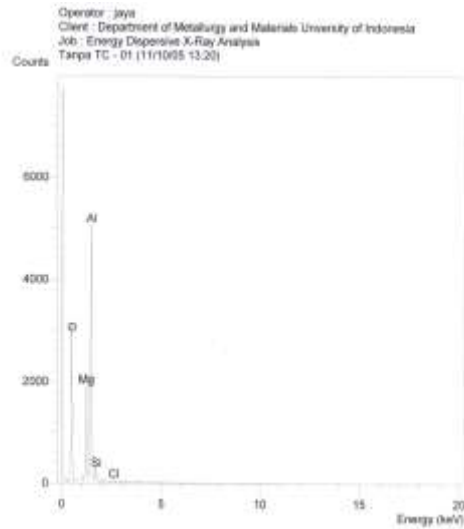
Gambar 5 Hasil SEM sebelum perlakuan T6



Gambar 6 Hasil SEM setelah perlakuan T6 pada 200°C selama 8 jam



Gambar 7 Hasil setelah perlakuan T6 pada 225°C selama 8 jam



```
EDXQuant results. Listed at 13:23:32 on 11/10/05
Operator: jaya
Client: Department of Metallurgy and Materials University of Indonesia
Job: Energy Dispersive X-Ray Analysis
Spectrum label: Target TC - 01

System resolution = 0.8 eV

Quantitative method: ZAF ( 4 iterations)
Analyzed all elements and normalized results.

1-peak possibly missed: 0.01 keV

Standards:
O F AL303 01/04/98
Mg F MgO 02/04/03
Al F AL303 01/04/98
Si F BASC 3D/10/93
Cl F WCS 1A/03/94

Elem Spect. Element Atomic
Type % %
O F ED 28.31 51.20
Mg F ED 19.34 33.33
Al F ED 41.85 75.72
Si F ED 2.30 4.13
Cl F ED 1.51 2.74
Total 102.02 160.20

* = <2 Sigma.
```

Gambar 8 Hasil pengujian EDXA

Dari hasil pengujian EDXA terlihat produk reaksi yang terbentuk adalah Al_2O_3 , MgO , sedang KCl bukan merupakan produk reaksi tetapi sisa larutan birne yang masih tersisa dari media *quench*.

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian SEM-EDXA maka dapat ditentukan struktur mikro yang terbentuk dalam komposit Al 6061 + abu dasar batubara, yakni terdiri dari senyawa aluminium oksida (Al_2O_3) dan MgO .

5. REFERENSI

- B.J.M. Beumer, Ing, 1979, "*Material Kunde*" Technische Uitgeverij H.Stam B.V. Educaboek,B.V, Industrieweg I, Cuelemborg, The Netherlands.
- Christensen R. F, 1982,"*Prosseding of IUTAM Symposiumon Mechanics of Composit Material*", Virginia Politeknik Institute and State University
- .Hartomo A. J, 1992,"*Komposit Metal*", Andi Offset, Yogyakarta.
- Pat L. Mangonon, 1999,"*The Principles of Materials Selection for Engineering Design*", Florida Institute of Tecnology Melbourne, Florida.
- R. W. Cahn, dkk, 1993,"*Structure and Properties of Composites*", VCH New york.
- R.E Smallman, 1999,"*Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*" Erlangga, Jakarta.
- Sears, Zemansky, 1962, "*Fisika Universitas*", Bina Cipta, Jakarta.
- Smallman R. E, Bishop R. J dan Djaprie, Sriati, 2000,"*Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material*", Erlangga, Jakarta.
- Shinroku Saito dan Tata Surdia, 1985,"*Pengetahuan Bahan Teknik*", PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Thomas F. K and James A. J, 1985,"*Engineering Material Technology*", Prentice Hall, Inc.