

## Karakteristik Komposit Al + Abu Dasar Batubara Dengan Variasi Temperatur Dan Waktu Tahan T6

Harjo Seputro, I Made Kastiawan, Zainun Akhmad

Teknik Mesin UNTAG Surabaya  
Jl. Semolowaru 45 Surabaya, 60118  
e-mail : harjo\_sp@yahoo.com

### Abstrak

Material komposit memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan material yang sudah ada, selain memiliki daya tahan tinggi terhadap kerusakan, juga lebih ringan. Berdasarkan hal ini, material komposit banyak digunakan pada beberapa industri, antara lain industri pesawat terbang dan industri otomotif. Karakteristik material sangat penting. Karena dengan mengetahuinya kita dapat mengaplikasikan material tersebut dengan tepat. Karakteristik yang dimaksud adalah sifat termal, fisik dan mekanik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik komposit Al 6061 + abu batubara yang meliputi : muai panas linier, konduktifitas panas, titik cair, densitas porositas serta kekerasan. Pembuatan komposit dilakukan dengan metode HAS. Sebelum dilakukan pengujian, material diberi perlakuan T6. Dimana material dilarutkan pada temperatur 538°C selama 16 jam, didinginkan dengan cepat lalu diproses penuaan buatan. Variasi temperatur dan waktu tahan pada proses penuaannya yaitu 200°C, 225°C, dan 250°C, dengan waktu tahan 8, 12, 16 jam. Pengujian dilakukan dengan DSC (*Differential Scanning Calorimetry*) untuk konduktifitas panas dan TDA (*Thermal Dilatometry Analysis*) untuk muai panas linier serta *trial and error* untuk uji titik cair, uji densitas porositas dengan prinsip archimedes sedangkan uji kekerasan dengan metode brinell.

Dari penelitian didapatkan konduktifitas panas dengan nilai minimum sebesar 5,703 W/m<sup>0</sup>K, dan maksimum sebesar 8,314 W/m<sup>0</sup>K. Hasil pengujian Muai Panas Linier memiliki nilai minimum sebesar 4,6238 10<sup>-4</sup>/°C dan maksimum sebesar 7,7312 10<sup>-4</sup>/°C. Untuk pengujian Titik Cair mempunyai hasil yang sama yaitu sebesar 700-1000°C. Nilai densitas yang dicapai adalah 2,4044 gr/cm<sup>3</sup> Nilai optimum pengujian porositas yang dicapai adalah 2,8876 %. Semakin tingginya temperatur aging dan waktu tahan yang lebih lama, maka difusi yang terjadi akan semakin besar sehingga penyusutan yang terjadi pun lebih besar sehingga akan terjadi pengurangan volume pori yang besar. Kekerasan maksimal 62,4 kg/mm<sup>2</sup> (BHN).

Kata kunci : karakteristik, komposit, Al 6061, abu dasar batubara, T6

### Pendahuluan

#### Latar belakang

Material komposit memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan material yang sudah ada, selain memiliki daya tahan tinggi terhadap kerusakan, juga lebih ringan. Berdasarkan hal ini, material komposit banyak digunakan pada beberapa industri, antara lain industri pesawat terbang dan industri otomotif (Masmui 2003).

Karakteristik material sangat penting. Karena dengan mengetahuinya kita dapat mengaplikasikan material tersebut dengan tepat. Karakteristik yang dimaksud adalah termal, fisik dan mekanik. Komposit Al + abu batubara sebagai material alternatif belum diketahui karakteristiknya. Sehingga penelitian untuk mengetahui karakteristik tersebut sangat penting. Komposit Al + abu batubara sudah dapat diproduksi (Harjo 2005). Untuk mendapatkan hasil yang baik,

kemudian material tersebut dilaku panas T6. Contoh aplikasi komposit matrik logam berbasis Al sudah banyak, seperti *cylinder linier* oleh *Honda Motor Company* dengan penguat Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> yang mempunyai sifat tahan aus dan angka muai yang rendah (Mel M. Schwartz 1997).

#### Tinjauan pustaka

1. Pengaruh penguatan material dengan presipitasi dan dispersi terhadap karakteristik panas

Salah satu yang perlu ditinjau dalam teknologi bahan komposit adalah memperbaiki kekuatannya. Salah satunya dengan menggunakan penguatan *Presipitasi* dan *Dispersi*.

Perlakuan dimana atom terlarut ditambahkan melampaui kelarutannya, untuk membuat larutan padat pada temperatur tinggi, perlakuan ini

dinamakan perlakuan pelarutan. Setelah perlakuan ini, dengan memanaskan pada berbagai temperatur umumnya timbul fasa presipitat. Presipitat berbeda dalam ukuran dari mulai yang sangat kecil yang hanya terlihat di bawah mikroskop elektron sampai keukuran besar yang dapat dilihat di bawah mikroskop optik dengan pembesaran yang rendah. Penguatan dispersi telah dikembangkan lanjut untuk menghasilkan beberapa bahan yang diperkuat oleh campuran bubuk buatan, serat dan sebagainya, yang menjadi kuat secara efektif. Bahan tersebut dinamakan bahan komposit, yang banyak dilakukan bagi bahan polimer dan keramik. Diharapkan dengan proses ini kemampuan dari material dapat meningkat, khususnya kemampuan karakteristik termal. Dimana termal merupakan salah satu bentuk energi, yang dapat berpindah dari benda yang satu ke benda yang lain karena perbedaan suhu diantara benda-benda itu.

2. *Konduktifitas panas (ASTM C372 Vol 15.02)*

Sifat ini yang ditujukan sebagai sifat transport menunjukkan indikasi laju yang mana energi dipindah oleh proses difusi. Konduktifitas termal tergantung pada struktur zat, atom dan molekul yang dihubungkan dengan keadaan zat, aspek penting identifikasi kelakuannya dan menunjukkan nilai sifat tipikal. *Gradien suhu* disebarkan titik dan pada sembarang waktu didefinisikan sebagai cepatnya perubahan suhu  $T$  sesuai dengan jarak  $x$  di sepanjang batang.

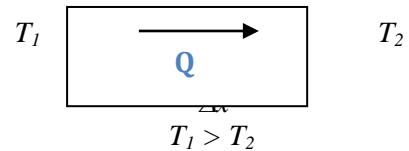
$$\text{Gradien suhu} = \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(1)$$

Konduktifitas termal ( $k$ ) bahan batang yang didefinisikan sebagai arus panas (negatif) persatuan luas ( $A$ ) yang tegaklurus pada arah aliran, dan persatuan gradien suhu :

$$k = -\frac{Q}{A(dT/dx)} \dots\dots\dots(2)$$

Tanda negatif di masukkan ke dalam definisi, sebab  $Q$  adalah positif (panas mengalir dari kiri ke kanan), apabila gradien suhu, seperti dalam Gambar 1, adalah negatif. Jadi,  $k$  merupakan besaran positif. Persamaan di atas dapat ditulis

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots(3)$$



**Gambar 1.** Aliran Panas ( $Q$ ) dengan gradien temperatur.

Di keramik dan polymer, konduksi dibawa oleh getaran kekisi atau fonon.



**Gambar 2** Alat uji konduktifitas termal

3. *Muai panas linier (ASTM C 372 Vol.15.02)*

Pada umumnya zat akan memuai bila dipanaskan. Pemuai dapat menimbulkan masalah, tetapi juga dapat dimanfaatkan. Manfaat pemuai antara lain : pengelingan pelat logam pada pembuatan badan kapal, termostat bimetal, termometer bimetal, dan lain-lain.

Pada pemuai zat padat yang dipanaskan mengalami pemuai panjang, pemuai luas, dan pemuai volume. Jika suatu benda padat dipanaskan sehingga mengalami kenaikan suhu  $\Delta T$ , maka pertambahan panjang  $\Delta L$  adalah sebanding dengan panjangnya semula  $L_0$  dikalikan dengan kenaikan suhunya.

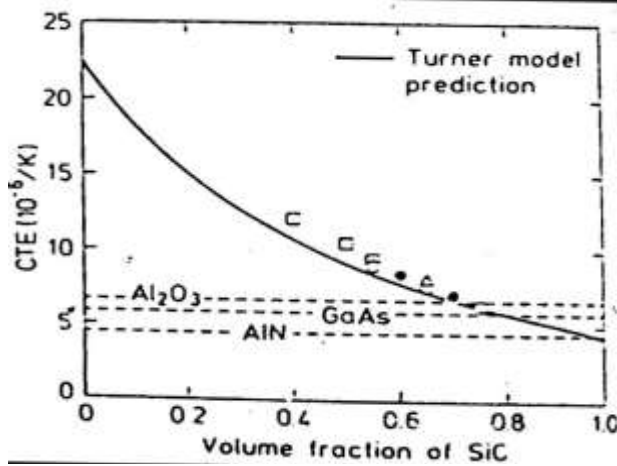
$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta T \dots\dots\dots(4)$$

Dengan  $\alpha$  adalah koefisien muai panjang ( $^{\circ}C$  atau  $K$ ,  $^{\circ}C^{-1}$  atau  $K^{-1}$ ). Nilai  $\alpha$  bergantung pada jenis zat, misal  $\alpha$  untuk Al adalah sebesar  $23,5 \times 10^{-6} ^{\circ}C$  sedang Baja sebesar  $12 \times 10^{-6} ^{\circ}C^{-1}$ .

Banyak peneliti sudah mengusulkan model untuk meramalkan koefisien muai termal komposit (**Kerner, 1956, Turner, 1946, Schapery, 1986**), yang ditentukan secara eksperimen koefisien ini dan menganalisa karakteristik termal yang umum tentang komposit matrik logam. Prediksi model Turner dari koefisien muai sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{\alpha_m V_m K_m + \alpha_{p1} V_{p1} K_{p1} + \alpha_{p2} V_{p2} K_{p2}}{V_m K_m + V_{p1} K_{p1} + V_{p2} K_{p2}} \dots(5)$$

Dimana  $\alpha$  adalah coefficient muai panas linier,  $V$  adalah volume fraksi,  $K$  adalah modulus bulk, sedangkan  $p$  adalah penguat.



**Gambar 3** Variasi koefisien muai panas komposit sicc / Al sebagai fungsi partikel volume fraksi.

Garis padat melambangkan prediksi model Turner. Pada diagram Turner di atas persamaan nampak untuk meramalkan nilai -nilai baik sekali dipartikel komposit ini.



**Gambar 4** Alat uji muai panas linear (TDA)

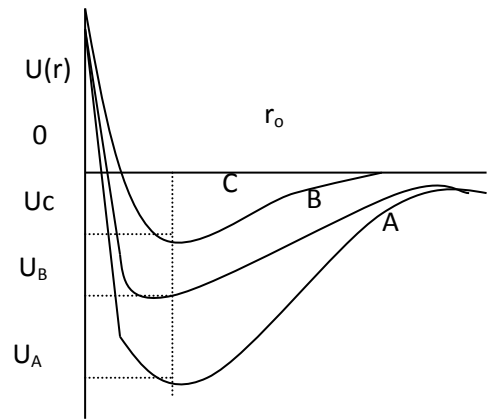
#### 4. Titik cair

Harga energi atom berbanding langsung dengan titik cair dari material. Skema ini dijelaskan pada Gambar 5. Dimana  $r_0$  adalah memiliki tetapan untuk tiga perbedaan harga garis yang membuktikan bahwa perbedaan ukuran atomik atom - atom tidak terlalu banyak. Harga energi terutama untuk jarak yang panjang dengan gaya tarik energi yang saling mengisi antara atom - atom positif dan negatif. Pertanyaannya adalah : Bagaimana merencanakan mulai titik cair suatu material ? Ini menjadi faktor ketika kita menggunakan material pada lingkungan temperatur tinggi, seperti digunakan sebagai mesin motorbakar. Apalagi, temperatur tinggi untuk satu material campuran relatif rendah dengan perbandingan

material yang lain memiliki perbedaan pada titik cairnya. Efek determinan temperatur pada pengujian material-material, temperatur aktual normal adalah  $T$ , dalam skala tetap, pada tetapan temperatur cair,  $T_m$ . Perbandingan antara temperatur,  $T$  dan  $T_m$ , pada titik cair (skala tetap) material harus kurang dari 0,3, maka :

$$\frac{T}{T_m} < 0,3 \dots\dots\dots(6)$$

Harus sesuai dengan data efek temperatur pada pengujian material. Jika suatu material adalah di bawah tekanan, prinsip utamanya adalah merangkak, yang mana perubahan yang lambat di dimensi suatu material yang berbeban ketika di atas perbandingan melebihi 0,3. Pada 298°K atau 35° C (temperatur ruang).



**Gambar 5** Skema garis lengkung ikatan energi dari tiga material yang berbeda. Harga ikatan energi yang memantul dari energi atom-atom terpisah.

#### 5. Densitas dan porositas (ASTM C 20-92)

Densitas merupakan pengukuran masa suatu benda per unit volume. Uji archimedes adalah suatu proses pengujian untuk mendapatkan nilai densitas – porositas.

Nilai densitas (D) dapat dihitung dengan :

$$D = \frac{Wd}{Ww - Ws} \dots\dots\dots(7)$$

Sedangkan nilai porositas (P) dapat dihitung dengan :

$$P = \left( \frac{Ww - Wd}{Ww - Ws} \right) \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

D = densitas (gram/cm<sup>3</sup>)

P = porositas (%)

Wd = berat kering (gram)

Ww = berat basah di udara (gram)

Ws = berat basah di air (gram)

### 6. Kekerasan brinell (ASTM E 384-89 Vol.05.02)

Prinsip dari pengujian kekerasan adalah untuk mengetahui ketahanan material terhadap deformasi plastis yang diakibatkan oleh penekanan material yang lebih keras. Oleh karena itu, kekerasan suatu material didefinisikan sebagai ketahanan material tersebut terhadap gaya penekanan dari material lain yang lebih keras. Pengujian kekerasan dilakukan dengan memakai bola baja yang diperkeras (hardened steel ball) dengan beban dan waktu indentasi tertentu.

$$BHN = \frac{2P}{(\pi D)(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \dots\dots\dots(9)$$

Dimana :

P = Beban dalam kg

D = diameter indentor dalam mm

d = diameter jejak dalam mm.



Gambar 6 Mesin uji kekerasan brinell.

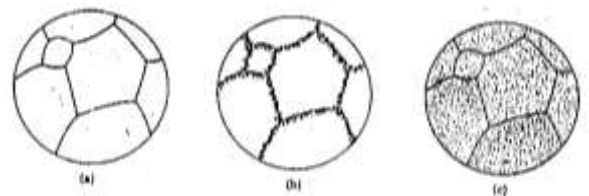
### 7. Perlakuan T6

Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat - sifat bahan dengan jalan memanaskan bahan tersebut sampai temperatur tertentu, kemudian didinginkan ketemperatur yang lebih rendah.. Proses laku panas T6 terdiri dari 3 tahap proses yaitu:

1. Proses pelarutan (*solution treatment*).
2. Proses pencelupan /pendinginan cepat (*quenching*).
3. Proses penuaan (*artificial aging*).

Sesuai tujuan utama pelakuan ini yaitu mencapai pelarutan penuh dari elemen paduan, maka harus dilakukan pada temperatur fasa tunggal, yaitu dibatas larutan padat keseimbangan paduan yang bersangkutan. Pada material komposit proses ini dilakukan pelarutan pada temperatur 538° C selama 16 jam (**Christensen R. F 1982**). Perlu diketahui bahwa pemanasan tidak dilakukan di atas temperatur solidus yang mana akan menyebabkan panas yang berlebihan (*over heating*).

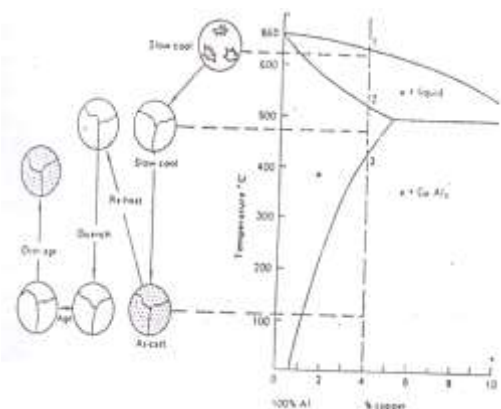
Fungsi dari *quenching* adalah mempertahankan fasa yang larut dalam larutan jenuh yang diperoleh dari proses solution. Interval pencelupan adalah waktu yang hilang dari terbukanya tempat laku panas material sampai dicelupkannya paduan kedalam media pendingin. Dalam hal ini kita menggunakan bak yang berisi air + 10% *sodium clorida*..



Gambar 7 Pengendapan batas butir dan dalam butir

Pada Gambar di atas (a) menunjukan larutan lewat jenuh,(b) pengendapan batas butir dan (c) pengendapan dalam butir. Suhu pengendapan yang lebih tinggi menyebabkan terjadinya pengendapan batas butir dan suhu yang lebih rendah menghasilkan struktur pengendapan dalam butir. Setelah mengalami proses pemanasan *Solution* dan *Quenching*, proses pengerasan dapat dicapai dengan cara pemanasan presipitat yang disebut *artificial aging*. Pada temperatur 250°c selama 20 jam (**Christensen R. F 1982**).

Keterangan tersebut di atas disajikan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 8 Perubahan strukturmikro selama proses pengerasan endapan

Namun dalam hal ini kita melakukan variabel temperatur dan waktu tahan *artificial aging*. Yaitu 200°C, 225°C, 250°C selama 8 jam, 12 jam, 16 jam. Dengan perbedaan temperatur dan waktu tahan ini, diharapkan perbedaan nilai yang dihasilkan berbeda pula. Sehingga aplikasi material ini dapat disesuaikan menurut nilai - nilai hasil pengujian tersebut. Contohnya pada Al 6061 memiliki *Coefficient of thermal expansion* sebesar  $23,5 \cdot 10^{-6}/K$  sebelum T6 dan setelahnya sebesar  $13,0 \cdot 10^{-6}/K$ . Dan *Coefficient of thermal expansion* sebesar  $23,5 \cdot 10^{-6}/K$  sebelum T6 dan *Thermal conductivity* sebesar 171 W/m.k (ASM Handbook 2001).

## Metode penelitian

### 1. Variabel penelitian

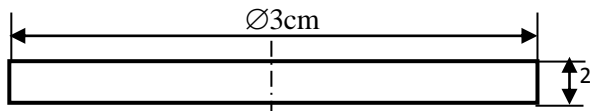
Variabel dalam penelitian ini adalah bahan dari material uji yaitu Al 6061 + Abu dasar batubara sesudah T6 dengan perbedaan temperatur dan waktu tahan *artificial aging*.

Kodifikasi dan variasi temperatur dan waktu tahan tersebut meliputi :

- A<sub>1</sub> = Temperatur 200°C, waktu tahan 8 jam
- A<sub>2</sub> = Temperatur 200°C, waktu tahan 12 jam
- A<sub>3</sub> = Temperatur 200°C, waktu tahan 16 jam
- B<sub>1</sub> = Temperatur 225°C, waktu tahan 8 jam
- B<sub>2</sub> = Temperatur 225°C, waktu tahan 12 jam
- B<sub>3</sub> = Temperatur 225°C, waktu tahan 16 jam
- C<sub>1</sub> = Temperatur 250°C, waktu tahan 8 jam
- C<sub>2</sub> = Temperatur 250°C, waktu tahan 12jam
- C<sub>3</sub> = Temperatur 250°C, waktu tahan 16 jam

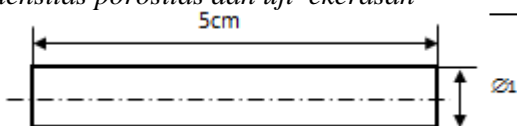
### 2. Bentuk dan dimensi spesimen /benda uji

Skema benda uji untuk konduktifitas termal, disajikan seperti pada gambar di bawah ini:



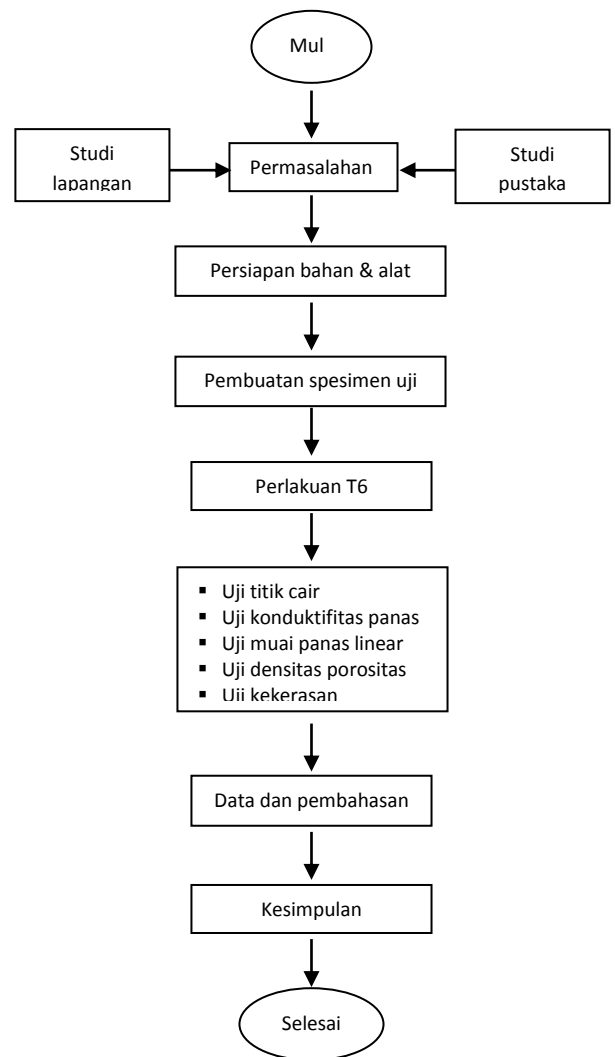
**Gambar 9** Skema benda uji konduktifitas panas dan titik cair (cm)

- Skema benda uji untuk muai panas linier, densitas porositas dan uji kekerasan



**Gambar 10** Skema benda uji muai panas linier, densitas porositas dan kekerasan (cm)

## Diagram alir penelitian

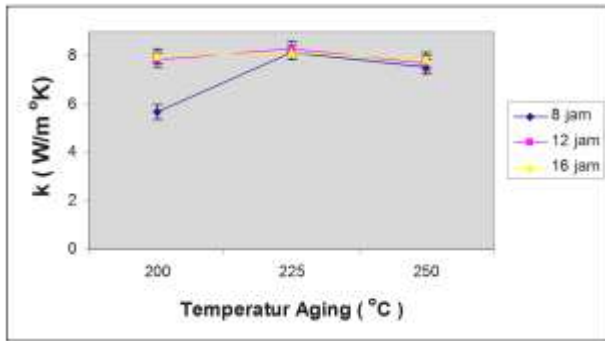


## Hasil dan pembahasan

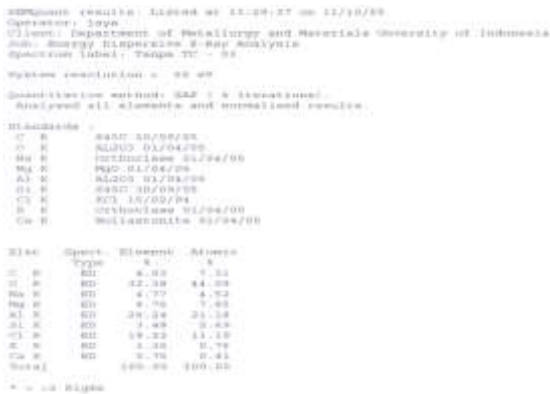
### 1. Hasil pengujian konduktifitas termal

**Tabel 1** Hasil pengujian konduktifitas termal rata-rata

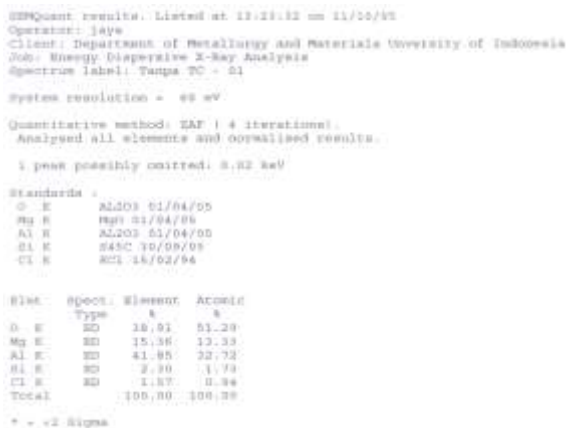
Kodifikasi	$\kappa$ (W/m <sup>0</sup> k)
A <sub>1</sub>	5,703
A <sub>2</sub>	7,843
A <sub>3</sub>	7,987
B <sub>1</sub>	8,147
B <sub>2</sub>	8,313
B <sub>3</sub>	8,147
C <sub>1</sub>	7,543
C <sub>2</sub>	7,686
C <sub>3</sub>	7,843



**Gambar 11** Pengaruh temperatur dan waktu tahan *artificial aging* terhadap nilai konduktifitas termal. Nilai diagram naik pada temperatur 225 ° C sebesar 7,03 W/m<sup>2</sup>k. Kenaikan nilai pada diagram disebabkan karena nilai dari porositas kecil sedangkan nilai diagram turun pada temperatur 200° C sebesar 5,703 W/m<sup>2</sup>k, penurunan nilai pada diagram disebabkan karena nilai porositas besar (lihat hasil uji densitas dan porositas. Hasil ini juga sesuai dengan pengamatan EDXA, dimana kandungan dan jumlah fasa yang terbentuk sangat mempengaruhi konduktifitas termal. Lihat Gambar 12 s/d Gambar 14.



**Gambar 12** Hasil EDXA komposit dengan aging 200°C

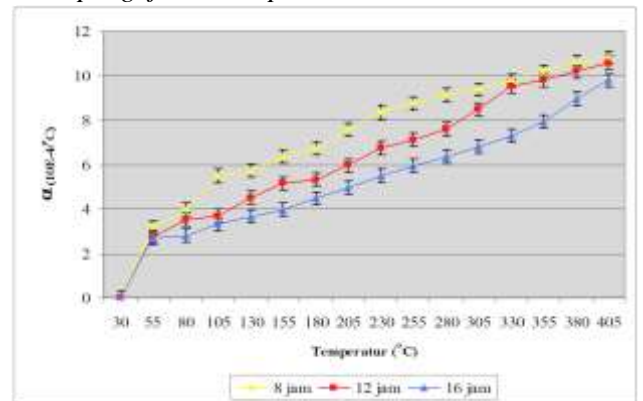


**Gambar 13** Hasil EDXA komposit dengan aging 225°C

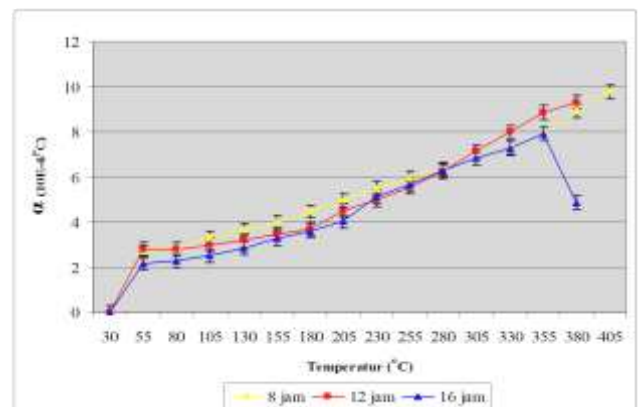


**Gambar 14** Hasil EDXA komposit dengan aging 250°C

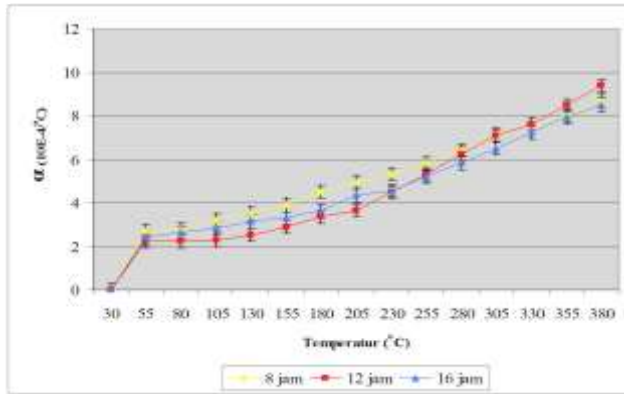
*Hasil pengujian muai panas linier*



**Gambar 15** Pengaruh temperatur dan waktu tahan *artificial aging* T6 pada temperatur 200°C, terhadap hasil pengujian muai panas linier



**Gambar 16** Pengaruh temperatur dan waktu tahan *artificial aging* T6 pada temperatur 225° C terhadap nilai muai panas linier



**Gambar 17** Pengaruh temperatur dan waktu tahan artificial aging T6 pada temperatur 250° C, terhadap hasil pengujian muai panas linier

Nilai diagram naik pada temperature 200°c sebesar 2,46 /°k. Kenaikan nilai pada diagram disebabkan karena nilai densitas besar dan porositas kecil. Nilai diagram turun pada temperatur 250°c sebesar 1,77 /°k. Kenaikan nilai pada diagram disebabkan karena nilai densitas kecil dan porositas besar.

3.3. Hasil pengujian titik cair

**Tabel 2** Hasil pengujian titik cair

Kodifikasi	Tm (° C)
Sebelum T6	700-1000
A 1, A2, A3	700-1000
B1, B2, B3	700-1000
C1, C2, C3	700-1000

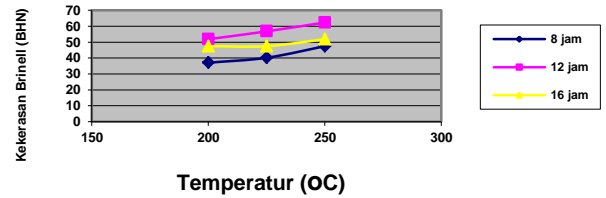
Dari hasil pengujian titik cair terlihat bahwa faktor dominan yang mempengaruhi adalah jenis dan jumlah fraksi penguat, sedang produk reaksi atau fasa baru yang terbentuk tidak berpengaruh, mengingat jumlahnya yang kecil.

3.4. Hasil pengujian kekerasan

**Tabel 3** Hasil uji kekerasan brinell

Benda Uji	Diameter indentasi (mm)			Nilai Kekerasan (kg/mm <sup>2</sup> )
	D1	d2	d rata-rata	
A <sub>1</sub>	2,8	2,8	2,8	37,1
A <sub>2</sub>	2,4	2,4	2,4	51,9
A <sub>3</sub>	2,5	2,5	2,5	47,5
B <sub>1</sub>	2,7	2,7	2,7	40,2
B <sub>2</sub>	2,3	2,3	2,3	56,8
B <sub>3</sub>	2,5	2,5	2,5	47,5
C <sub>1</sub>	2,5	2,5	2,5	47,5
C <sub>2</sub>	2,2	2,2	2,2	62,4
C <sub>3</sub>	2,4	2,4	2,4	51,9

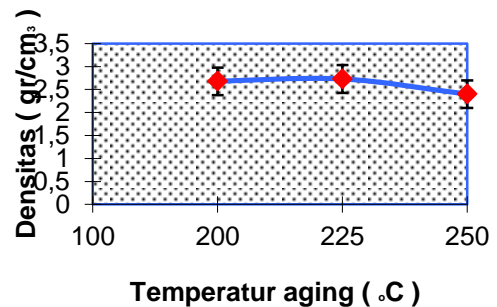
**Hubungan Temperatur dan Artificial Aging Dengan Kekerasan Brinell Pada Material Komposit Hasil Metode D'Has**



**Gambar 18** Grafik kekerasan brinell

Kekerasan cenderung meningkat dengan naiknya temperatur. Kekerasan mencapai titik maksimal pada sampel dengan kondisi 250<sup>0</sup>C, 12 jam, dan titik minimal dengan kondisi 200<sup>0</sup>C, 8 jam. Semakin besar temperatur yang di butuhkan maka nilai kekerasannya semakin meningkat karena terbentuknya jumlah presipitat yang semakin banyak.

Hasil pengujian densitas dan porositas

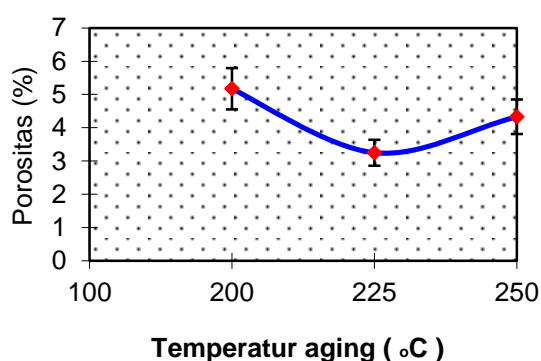


**Gambar 19** Grafik pengaruh temperatur aging dan waktu tahan 8 jam terhadap densitas

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai densitas memiliki kecenderungan untuk naik kemudian turun. Dimana pada temperatur aging 200°C komposit Al – abu batubara memiliki nilai densitas 2,68 gr/cm<sup>3</sup>, temperatur aging 225°C nilai densitasnya 2,73 gr/cm<sup>3</sup>, sedangkan pada temperatur aging 250°C memiliki nilai densitas 2,40 gr/cm<sup>3</sup>. Meningkatnya nilai densitas dari 2,68 gr/cm<sup>3</sup> pada temperatur aging 200°C menjadi 2,73 gr/cm<sup>3</sup> pada temperatur 225°C disebabkan karena meningkatnya temperatur aging. Semakin meningkat temperatur aging akan menyebabkan semakin meningkatnya energi aktivasi yang berfungsi sebagai pendorong terjadinya transport masa atau difusi selama proses aging Dengan semakin besarnya transport masa yang terjadi selama proses aging akan menyebabkan

terjadinya pertumbuhan butir antar partikel yang akan berakibat pada semakin meningkatnya pepadatan dan penyusutan serta pengurangan volume pori.

Sedangkan penurunan nilai densitas  $2,73 \text{ gr/cm}^3$  pada temperatur  $225^\circ\text{C}$  menjadi  $2,40 \text{ gr/cm}^3$  pada temperatur  $250^\circ\text{C}$  disebabkan karena pada temperatur aging  $225^\circ\text{C}$  dengan waktu tahan selama 8 jam material komposit Al-abu batubara telah mencapai nilai optimum pada tahap akhir dari aging. Dengan semakin diperlamanya tahap akhir proses aging dengan temperatur aging yang semakin meningkat menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir yang berlebihan serta pengkasaran pori maka terjadilah penurunan nilai densitas dari  $2,73 \text{ gr/cm}^3$  pada temperatur  $225^\circ\text{C}$  menjadi  $2,40 \text{ gr/cm}^3$  pada temperatur  $250^\circ\text{C}$



**Gambar 20** Grafik pengaruh temperatur aging dan waktu tahan terhadap porositas

Semakin tinggi temperatur aging yang diberikan terhadap material komposit diperoleh persentase porositas yang memiliki kecenderungan untuk turun kemudian naik. Hal ini berbanding terbalik dengan nilai densitas yang diperoleh. Besarnya persentase porositas material komposit Al 6061 – abu batubara dengan temperatur aging  $200^\circ\text{C} = 5,17 \%$ , temperatur aging  $225^\circ\text{C} = 3,25\%$ , dan  $4,33 \%$  pada temperatur aging  $250^\circ\text{C}$ .

Nilai persentase porositas material komposit Al 6061 – abu dasar batubara yang diperoleh pada temperatur aging  $200^\circ\text{C}$  cukup besar yakni  $5,17 \%$ . Hal ini disebabkan karena material dipanaskan pada temperatur aging yang masih rendah, sehingga ikatan yang terjadi antar partikel belum kuat dan pertumbuhan butir yang masih kecil. Sehingga hal tersebut sangat berpengaruh terhadap kecilnya penyusutan serta pengurangan volume pori yang terjadi.

Berbeda dengan material komposit pada saat temperatur aging  $225^\circ\text{C}$ , persentase porositas yang diperoleh jauh lebih kecil, yaitu  $3,25 \%$ . Penyebabnya adalah dengan semakin tingginya temperatur aging

dan waktu tahan lebih lama yang diberikan pada material pada saat aging, maka difusi yang terjadi akan semakin besar sehingga penyusutan yang terjadi pun lebih besar sehingga terjadi pengurangan volume pori yang besar.

Sedangkan meningkatnya kembali porositas pada temperatur  $250^\circ\text{C}$  menjadi  $4,33 \%$  disebabkan karena tahap akhir dari proses aging yang diperlama, sehingga terjadi pertumbuhan butir yang lebih banyak yang berakibat pada berkurangnya daerah batas butir serta pengkasaran pori dan hal ini akan meningkatkan persentase porositas.

### Kesimpulan

- Konduktifitas panas optimum diperoleh pada komposit setelah mendapat perlakuan T6 pada temperatur  $225^\circ\text{C}$  selama 12 jam sebesar  $7,03 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Sedangkan nilai minimum diperoleh pada komposit setelah mendapat perlakuan T6 pada temperatur  $200^\circ\text{C}$  selama 8 jam sebesar  $5,703 \text{ W/m}^2\text{K}$ .
- Semakin tinggi temperature dan semakin lama waktu tahan T6 nilai muai panas linear semakin menurun. Nilai maksimum diperoleh pada temperature aging  $200^\circ\text{C}$  sebesar  $2,46 /^\circ\text{K}$ . Sedangkan nilai minimum diperoleh pada temperature aging pada temperatur  $250^\circ\text{C}$  sebesar  $1,77 /^\circ\text{K}$ .
- Perlakuan T6 tidak mempengaruhi nilai titik cair komposit. Nilai titik cair pada rentang temperature  $700^\circ\text{C} - 1000^\circ\text{C}$
- Nilai optimum pengujian densitas yang dicapai adalah  $2,4044 \text{ gr/cm}^3$  dicapai pada saat temperatur  $250^\circ\text{C}$  dan waktu tahan 8 jam. Dengan semakin diperlamanya tahap akhir proses aging, dan temperatur aging yang semakin meningkat menyebabkan terjadinya pertumbuhan butir yang berlebihan serta pengkasaran pori maka terjadilah penurunan nilai densitas dari  $2,73 \text{ gr/cm}^3$  pada temperatur  $225^\circ\text{C}$  menjadi  $2,40 \text{ gr/cm}^3$  pada temperatur  $250^\circ\text{C}$ .
- Nilai optimum pengujian porositas yang dicapai adalah  $2,8876 \%$  dicapai pada kondisi temperatur aging  $250^\circ\text{C}$  dengan waktu aging 8 jam. Semakin tingginya temperatur aging dan waktu tahan lebih lama yang diberikan pada material pada saat aging, maka difusi yang terjadi akan semakin besar sehingga penyusutan yang terjadi pun lebih besar sehingga akan terjadi pengurangan volume pori yang besar.
- Semakin besar temperatur, semakin besar pula kekerasannya dan untuk waktu *artificial aging*



setelah mengalami kenaikan pada kondisi 12 jam kemudian mengalami penurunan pada kondisi 16 jam.

- Kekerasan mencapai titik maksimal dengan kondisi 250<sup>0</sup>C, 12 jam.
- Kekerasan mencapai titik minimal dengan kondisi 200<sup>0</sup>C, 8 jam

### Daftar pustaka

- Charles M, dkk, 2001, "Composites", 21<sup>st</sup>, ASM Handbook Committee, Material Park, Ohio, page 840.
- Christensen R. F, 1982, "Proceeding of IUTAM Symposiumon Mechanics of Composit Material", Virginia Politeknik Institute and State University
- Malcom P, 1962, "Kimia Polimer", PT Pradnya Paramita, Jakarta, hal 184.
- Pat L. Mangonon, 1999, "The Principles of Materials Selection for Engineering Design", Florida Institute of Tecnology Melbourne, Florida, page 122
- R. W. Cahn, dkk, 1993, "Structure and Properties of Composites", VCH New york, page 162.
- Sears, Zemansky, 1962, "Fisika Universitas", Bina Cipta, Jakarta, hal 368, 392.
- Smallman R. E, Bishop R. J dan Djaprie, Sriati, 2000, "Metalurgi Fisik Modern dan Rekayasa Material", Erlangga, Jakarta, hal 179.
- Shinroku Saito dan Tata Surdia, 1985, "Pengetahuan Bahan Teknik", PT Pradnya Paramita, Jakarta, hal 47.
- Thomas F. K and James A. J, 1985, "Engineering Material Technology", Prentice Hall, Inc, page 740.