

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN

#### 4.1 HASIL FISIK PRODUK CMCs

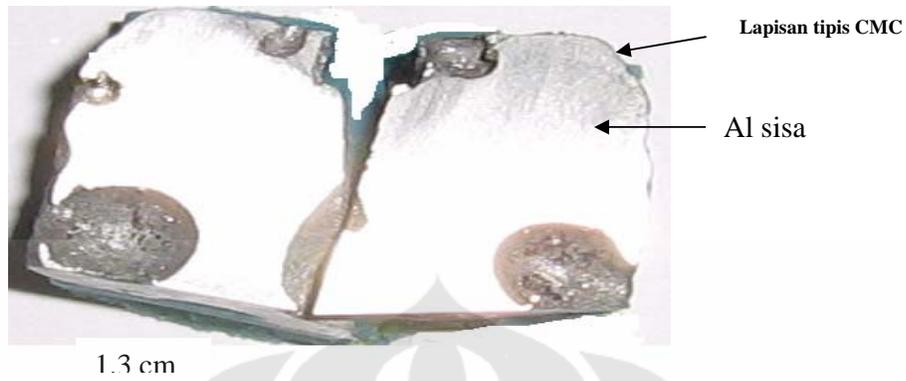
Dengan bertambahnya waktu tahan *firing*, produk CMCs yang dihasilkan mempunyai karakteristik seperti yang dijelaskan berikut ini:

##### 4.1.1 Waktu Tahan 8 Jam

Blok paduan Al yang terkonsumsi dalam jumlah yang sangat sedikit. Pada proses *firing* selama 8 jam, permukaan luar blok paduan Al telah ditemukan adanya produk CMCs dalam bentuk lapisan yang menutupi seluruh permukaan Al yang tipis ( $\pm 0.3$  mm). Infiltrasi Al ke prabentuk C telah berlangsung karena pada bagian dasar blok paduan Al telah terbentuk cekungan-cekungan akibat proses *firing* telah terjadi.



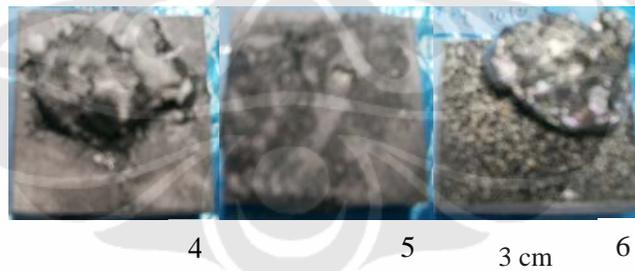
**Gambar 4.1** Produk CMCs hasil firing dengan waktu tahan 8 jam



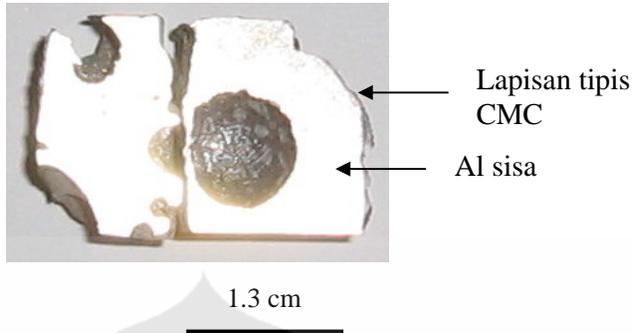
**Gambar 4.2** Potongan produk CMCs hasil firing dengan waktu tahan 8 jam

#### 4.1.2. Waktu Tahan 10 Jam.

Blok paduan Al yang terkonsumsi lebih banyak dibandingkan dengan hasil firing selama 8 jam, karena produk CMCs yang dihasilkan lebih tebal pada seluruh permukaan blok Al. Dapat dilihat dengan semakin tebalnya lapisan CMCs yang terbentuk ( $\pm 0.5$  mm). Cekungan pada dasar blok paduan Al lebih banyak.



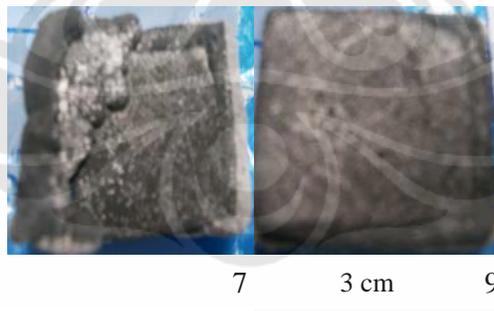
**Gambar 4.3** Produk CMCs hasil firing dengan waktu tahan 10 jam



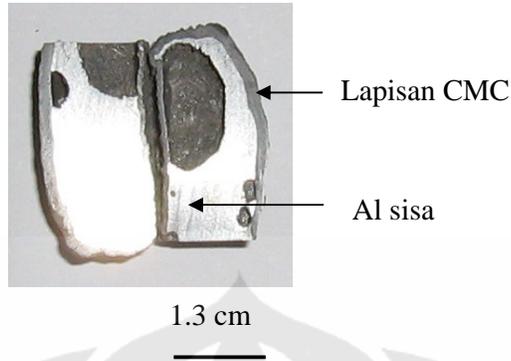
**Gambar 4.4** Potongan produk CMCs hasil firing dengan waktu tahan 10 jam

#### 4.1.3 Waktu Tahan 15 Jam.

Blok paduan Al yang telah dikonsumsi melebihi setengah dari volume blok paduan Al. Terbentuknya lapisan CMCs yang sebesar 1-3 mm dan terbentuknya rongga yang menyerupai bentuk awal blok paduan Al. Terdapat perbedaan warna antara lapisan permukaan luar dan lapisan permukaan dalam. Lapisan dalam produk CMCs berwarna lebih gelap dibanding dengan lapisan permukaan luar.



**Gambar 4.5** Produk CMCs hasil firing dengan waktu tahan 10 jam



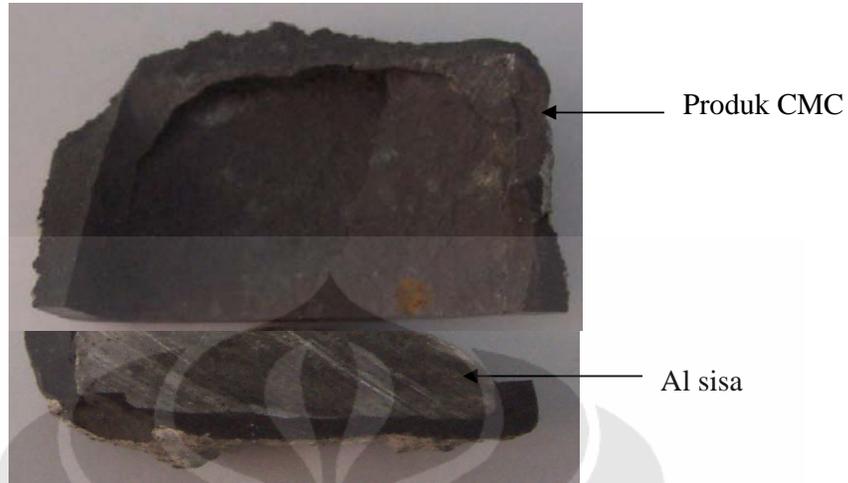
**Gambar 4.6** Potongan produk CMCs hasil firing dengan waktu tahan 15 jam

#### 4.1.4. Waktu Tahan 20 Jam.

Menghasilkan produk CMCs yang banyak. Terdapat perbedaan warna antara lapisan permukaan dalam CMCs dan lapisan permukaan luar CMCs, dimana lapisan permukaan dalam lebih gelap. Masih terdapat paduan Al yang belum bereaksi seluruhnya terhadap C.



**Gambar 4.7** Potongan produk CMCs hasil firing dengan waktu tahan 20 jam



**Gambar 4.8** Potongan produk CMCs hasil firing dengan waktu tahan 20 jam

#### 4.1.5 Waktu Tahan 24 Jam.

Tidak terdapat paduan Al sisa pada hasil produk ini. Pada bagian permukaan dalam, warna produknya berwarna hitam. Sedangkan pada sisi kiri, kanan, dan dasar, warna produknya berwarna putih keabu – abuan. Kemungkinan perbedaan warna tersebut terjadi karena produk CMCs yang terbentuk pada sisi kiri, kanan, dan dasar mengalami reaksi dengan *barrier*. Sehingga ada terbentuk 2 (dua) fasa dalam sistem komposit yaitu : C / Al dan  $Al_2O_3$  / Al. Fenomena lain yang terjadi yaitu setelah dipotong, produk CMCs tersebut ternyata terdapat rongga dengan ukuran menyerupai blok Al.



**Gambar 4.9** Potongan produk CMCs hasil firing dengan waktu tahan 24 jam

#### 4.2 PERTAMBAHAN BERAT (GAIN PRODUCT) PRODUK CMCs

Pertambahan berat (*gain product*) produk CMCs dihitung dengan menimbang berat benda uji setelah proses dikurangi dengan berat blok paduan Al sebelum proses. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan neraca digital analitik. Pertambahan berat (*gain product*) pada produk CMCs menunjukkan banyaknya leburan Al yang dapat menginfiltrasi partikel C dengan bantuan dopant MgO. Data pertambahan produk CMCs ditampilkan pada **Tabel 4.1**

#### 4.3 HASIL PENGUJIAN DENSITAS PRODUK CMCs

Hasil pengujian densitas menunjukkan bahwa densitas benda uji akan meningkat seiring dengan meningkatnya pertambahan berat produk CMCs yang terbentuk. Data hasil pengujian densitas dapat dilihat pada **Tabel 4.2**.

**Tabel 4.1** : Pertambahan Berat Produk CMCs

No. Sample	Temperatur Firing ( °C )	Waktu Tahan (Jam)	Berat Blok Al ( gr )	Berat Produk ( gr )	Gain Product ( gr )	Rata - rata ( gr )
1	1100	8	23.31	24.31	1	0.546
2			23.62	23.77	0.15	
3			23.66	24.15	0.49	
4	1100	10	23.2	24.36	1.16	1.186
5			23.23	23.68	0.45	
6			23.2	25.15	1.95	
7	1100	15	22.75	27.83	5.08	6.795
9			22.85	31.36	8.51	
10	1100	20	23.12	40.75	17.63	17.12
11			22.29	37.57	15.28	
12			22.75	41.2	18.45	
13	1100	24	22,54	53,51	25,97	25.43
14			22,1	53,03	25,93	
15			22,53	51,94	24,41	

**Tabel 4.2 : Hasil Pengujian Densitas Produk CMCs**

No. Sample	Temperatur Firing ( °C )	Waktu Tahan ( Jam )	Densitas ( gr / cm <sup>3</sup> )	Rata - rata ( gr / cm <sup>3</sup> )
1	1100	8	2.85	2.87
2			2.89	
4	1100	10	2.9	2.92
5			2.94	
7	1100	15	2.96	2.95
9			2.94	
10	1100	20	3.04	3.05
11			3.06	
13	1100	24	3.16	3.17
14			3.18	

#### 4.4 PENGUJIAN POROSITAS PRODUK CMCs

Dari hasil pengujian porositas terhadap produk CMCs disimpulkan bahwa nilai porositas meningkat seiring dengan bertambahnya waktu tahan. Nilai porositas dapat dilihat pada tabel 4.3

**Tabel 4.3 Hasil Pengujian Porositas Produk CMCs**

No.	Temperatur Firing ( °C )	Waktu Tahan (Jam)	Nilai Porositas Rata - rata
1	1100	8	5
2	1100	10	4.6
3	1100	15	4.3
4	1100	20	3.8
5	1100	24	3.2

#### 4.5 HASIL PENGUJIAN KEKERASAN MIKRO

Data yang diperoleh dari hasil pengujian kekerasan mikro dengan menggunakan metode Vickers menunjukkan peningkatan nilai kekerasan hingga ke waktu tahan 24 jam

**Tabel 4.4 : Hasil Pengujian Kekerasan Produk CMCs**

No.	Temperatur Firing ( °C )	Waktu Tahan ( Jam )	Nilai Kekerasan Rata - rata (MPa)
1	1100	8	639
2	1100	10	670
3	1100	15	6570
4	1100	20	9236
5	1100	24	14300

Sumber : Hasil Pengolahan Data

#### 4.6 HASIL PENGUJIAN KEAUSAN

Pengujian keausan didasarkan pada tiga variabel, yaitu : variabel kecepatan, jarak luncur, dan beban. Hasil pengujian diolah dengan menggunakan rumus :

$$\text{Volume terabrasi} = \frac{B \cdot b^3}{12 \cdot r} \dots\dots\dots(3.5)$$

- Keterangan : r = Jari –jari cincin putar (mm)  
 b = Lebar celah terabrasi (mm)  
 B = Tebal cincin putar (mm)<sup>(24)</sup>

Hasil pengolahan datanya disajikan dalam tabel berikut ini :

**Tabel 4.5 : Hasil Pengujian Keausan Produk CMCs**

No.	Temperatur Firing ( °C )	Waktu Tahan ( Jam )	Nilai Keausan Rata - rata (mm <sup>3</sup> )
1	1100	8	4.1
2	1100	10	3.98
3	1100	15	0.995
4	1100	20	0.467
5	1100	24	0.409

Sumber : Hasil Pengolahan Data

Nilai keausan diolah untuk mendapatkan besarnya laju keausan, dengan menggunakan rumus :

$$\text{Laju Keausan (mm}^3 \text{ / mm)} = \frac{\text{Volume Terabrasi}}{\text{Jarak Luncur}} \dots\dots\dots(3.6)$$

Hasil pengolahan datanya disajikan dalam tabel dibawah ini :

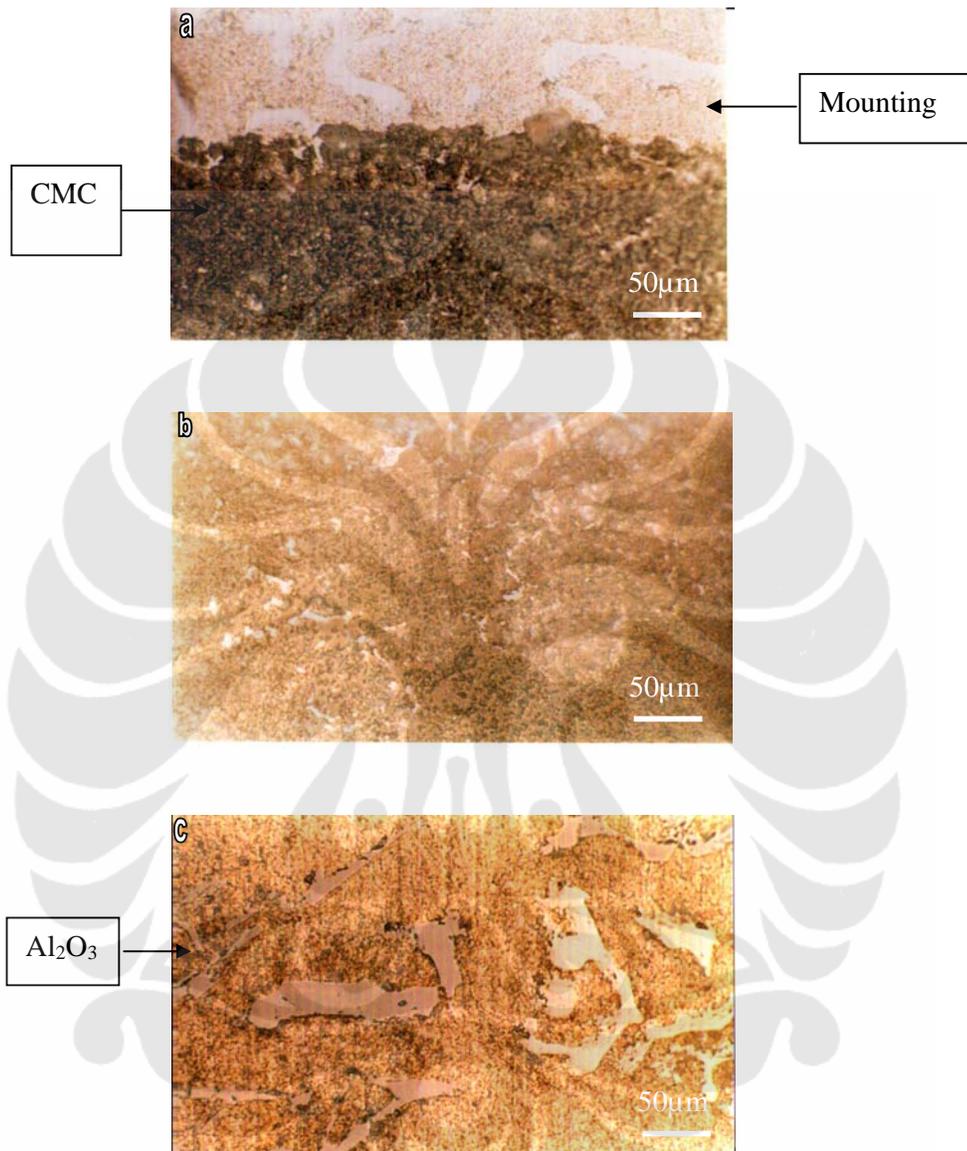
**Tabel 4.6 : Laju Keausan Produk CMCs**

No.	Temperatur Firing ( °C )	Waktu Tahan ( Jam )	Laju Keausan (mm <sup>3</sup> / mm)
1	1100	8	20.5x10 <sup>-6</sup>
2	1100	10	19.9x10 <sup>-6</sup>
3	1100	15	4.963x10 <sup>-6</sup>
4	1100	20	2.335x10 <sup>-6</sup>
5	1100	24	2.03x10 <sup>-6</sup>

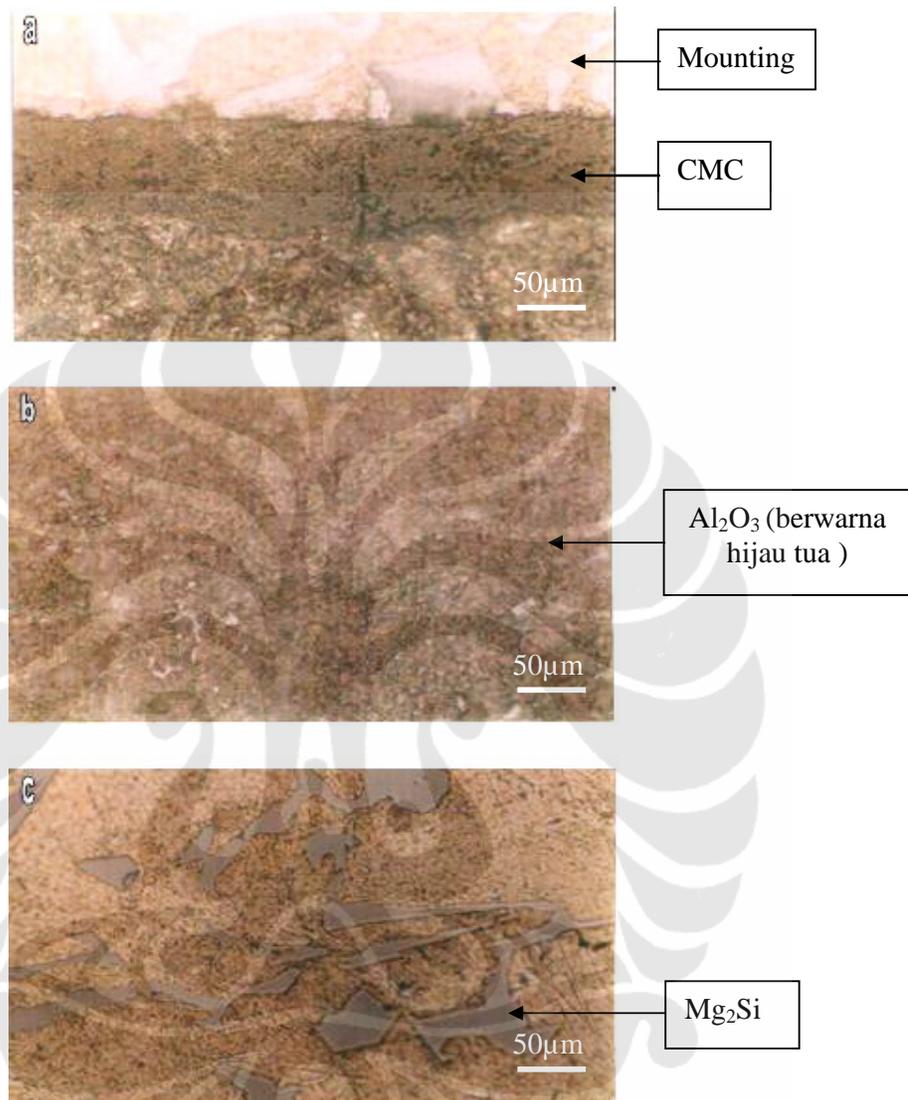
Sumber : Hasil Pengolahan Data

#### 4.7 PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO, SEM dan EDS PRODUK CMCs

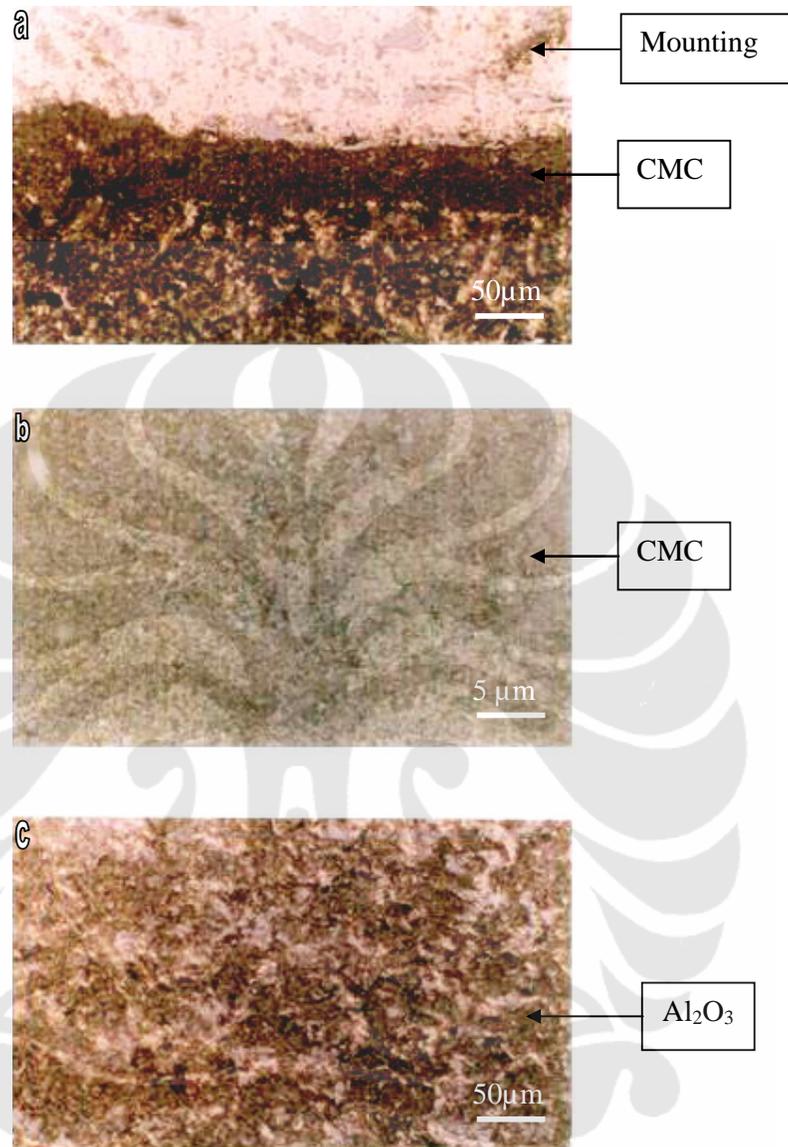
Struktur mikro produk CMCs selain diamati dengan mikroskop optik, juga diamati dengan menggunakan SEM. Pada saat yang bersamaan, juga dilakukan pengujian komposisi kimia dengan EDS, sehingga dapat diketahui senyawa kimia yang terbentuk dalam produk CMCs Al/C ini. Struktur mikro pada produk CMCs C / Al ini terdapat struktur yang berwarna putih yaitu aluminium sisa. Struktur yang berwarna gelap ( cenderung berwarna hijau tua) Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Partikel grafit tersebar pada bagian dalam CMCs dan berwarna kecoklatan. Pengamatan struktur mikro ini dilakukan pada daerah pinggir, dekat pinggir dan tengah produk CMCs C / Al. Hasil pengamatan struktur mikro dari produk CMCs C /Al dengan mikroskop optik adalah sebagai berikut:



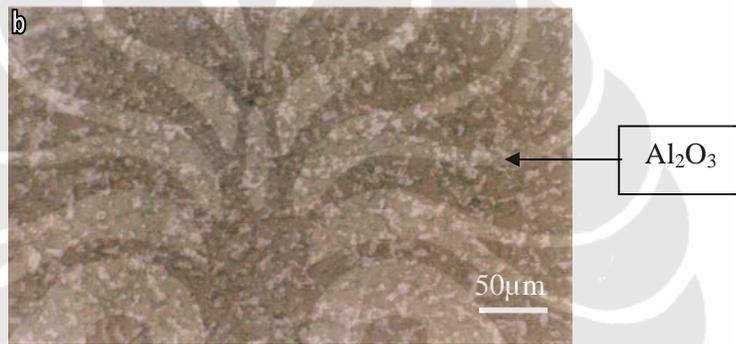
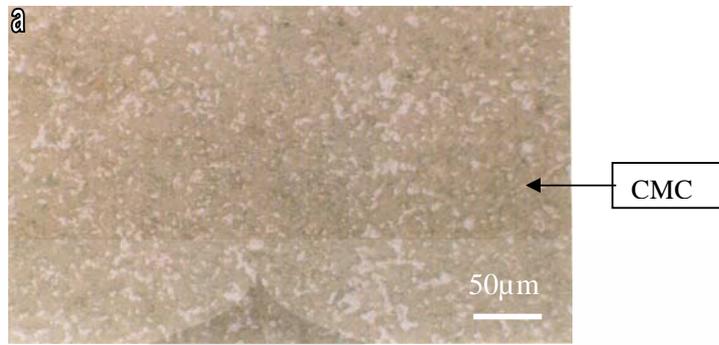
**Gambar 4.10** Struktur mikro produk CMCs hasil firing pada suhu 1100<sup>0</sup>C, dengan waktu tahan 8 jam. (a) daerah interfase; (b) daerah dekat interfase; (c) daerah Al



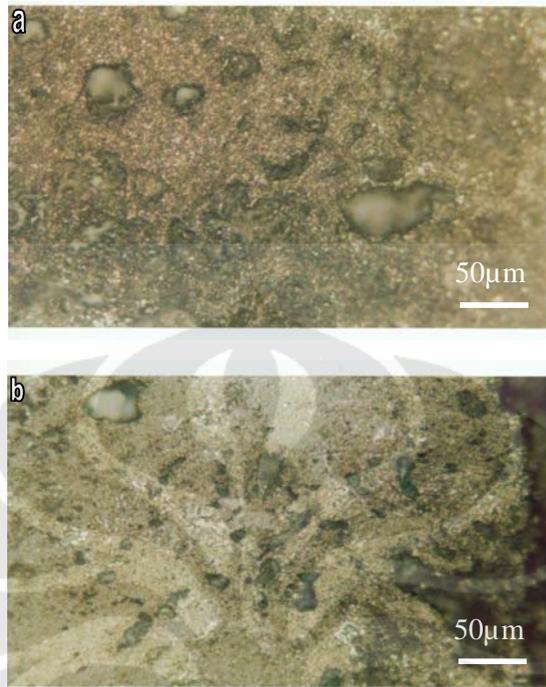
**Gambar 4.11** Struktur mikro produk CMCs hasil firing pada suhu 1100<sup>0</sup>C, dengan waktu tahan 10 jam. (a) daerah interfase; (b) daerah dekat interfase; (c) daerah Al



**Gambar 4.12** Struktur mikro produk CMCs hasil firing pada suhu 1100<sup>0</sup>C, dengan waktu tahan 15 jam. (a) daerah interfase ceramic-mounting; (b) daerah ceramic CMC ;(c) daerah dekat interfase

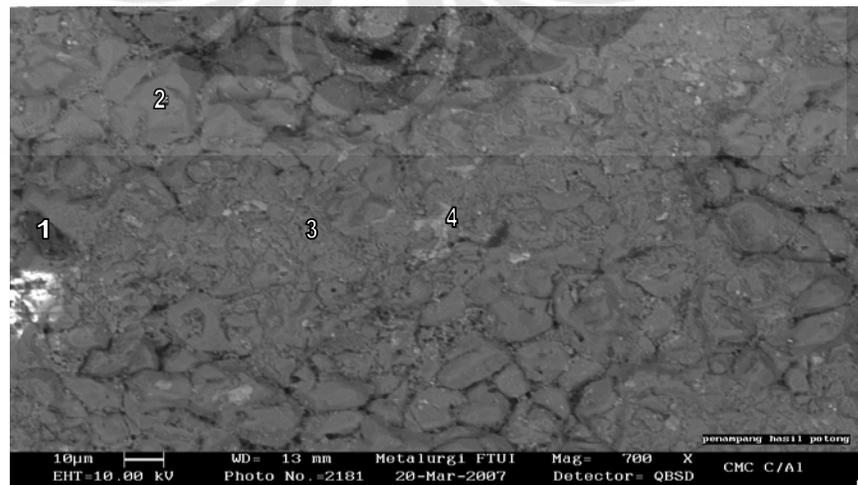


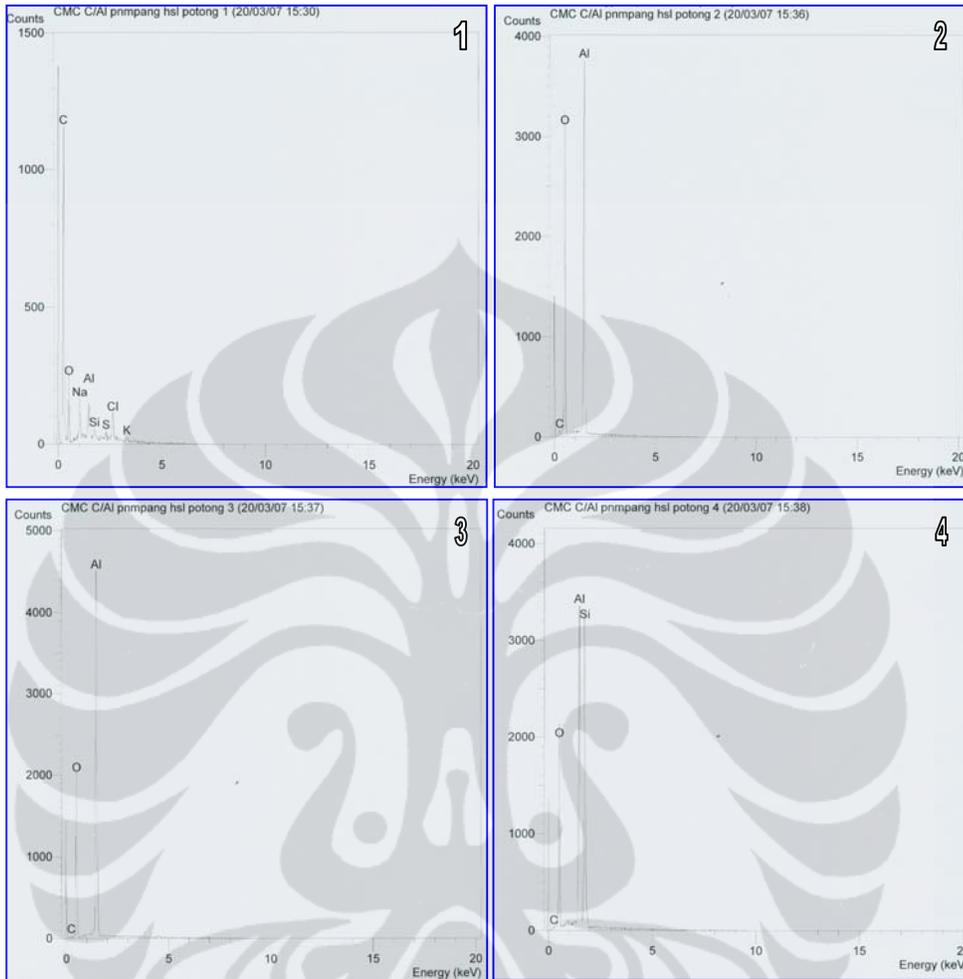
**Gambar 4.13.** Struktur mikro produk CMCs hasil firing pada suhu  $1100^{\circ}\text{C}$ , dengan waktu tahan 20 jam. (a) Daerah CMCs ; (b) daerah dekat interfase



**Gambar 4.14.** Struktur mikro produk CMCs hasil firing pada suhu 1100<sup>0</sup>C, dengan waktu tahan 24 jam. (a) Daerah tengah CMCs ; (b) daerah pinggir.

Pengamatan struktur mikro dengan menggunakan SEM dan pengujian komposisi kimia menggunakan EDS dilakukan pada produk CMCs C/Al hasil waktu firing 24 jam. Pengujian komposisi kimia dengan menggunakan instrumen EDS dilakukan pada berbagai daerah pada produk CMCs C/Al yang dihasilkan



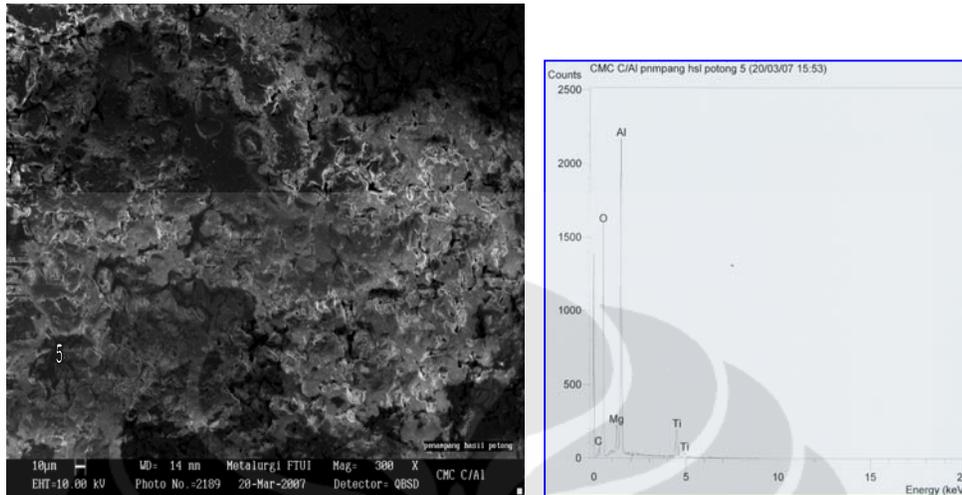


**Gambar 4.15** : Hasil pengamatan SEM dan pengujian komposisi kimia pada produk CMCs C / Al dengan temperatur *firing* 1100°C dan waktu tahan 24 jam . Daerah diberi nomor adalah daerah yang diuji komposisi kimianya.

Berikut ini adalah tabel komposisi kimia masing – masing *spot*, yaitu :

**Tabel 4.7** : Komposisi Kimia masing – masing *Spot*

No Spot	Komposisi Kimia (% Wt)							
	C	O	Al	Si	Na	S	Cl	K
1	30,1	28,04	4,76	0,93	9,91	0,84	22,92	2,5
2	0,6	52,98	46,42	-	-	-	-	-
3	0,45	40,75	58,8	-	-	-	-	-
4	0,54	37,5	34,17	27,79	-	-	-	-

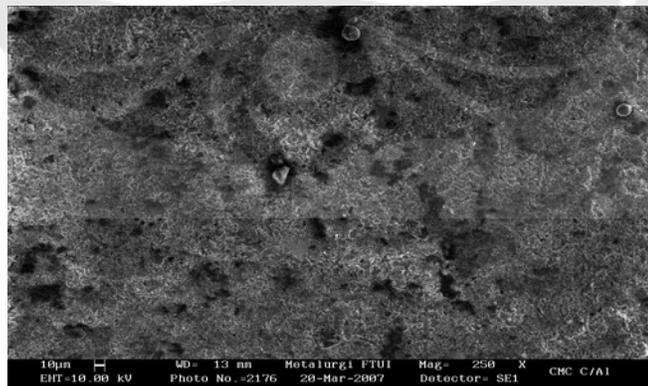


**Gambar 4.16** : Hasil pengamatan SEM dan pengujian komposisi kimia pada produk CMCs C / Al dengan temperatur *firing* 1100°C dan waktu tahan 24 jam . Daerah (5) merupakan daerah penampang hasil potong bagian yang berwarna hitam, yang merupakan mikroporositas

Berikut ini adalah tabel komposisi kimia *spot* 5 yaitu :

**Tabel 4.9** : Komposisi Kimia *Spot* 5

No Spot	Komposisi Kimia (%Wt)				
	C	O	Al	Mg	Ti
5	0,35	47,67	32,08	1,86	18,04



**Gambar 4.17** : Hasil pengamatan SEM pada produk CMCs C / Al dengan temperatur *firing* 1100°C dan waktu tahan 24 jam. Daerah yang berwarna hitam yang merupakan mikroporositas.

## BAB V

### PEMBAHASAN

#### 5.1 PENGARUH WAKTU TAHAN *FIRING* TERHADAP PERTAMBAHAN BERAT (GAIN PRODUCT) PRODUK CMCs

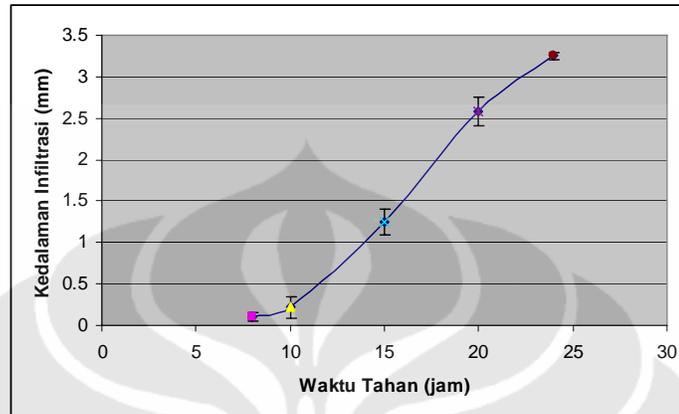
Kedalaman infiltrasi Al ke prabentuk C akibat adanya gaya kapilaritas leburan Al semakin meningkat dengan bertambahnya waktu tahan. Kedalaman infiltrasi maksimal diperoleh pada waktu tahan 24 jam. Hal ini dapat dibuktikan dengan tidak terdapatnya Al sisa pada produk seperti yang terlihat pada **Gambar 4.9** dimana hanya terdapat produk komposit yang berongga (**Gambar 5.1**). Bertambahnya *gain product* dengan bertambahnya waktu tahan terbukti dengan meningkatnya kedalaman infiltrasi pula (**Gambar 5.2**).

Proses pembasahan melibatkan proses pembentukan lapisan interfacial. Proses pembentukan lapisan ini sangat dipengaruhi oleh temperatur. Persamaan Arrhenius (**persamaan 2.1**) menunjukkan bahwa dengan semakin tingginya temperatur firing maka proses difusi akan semakin cepat ( $1373\text{ K}$ ).

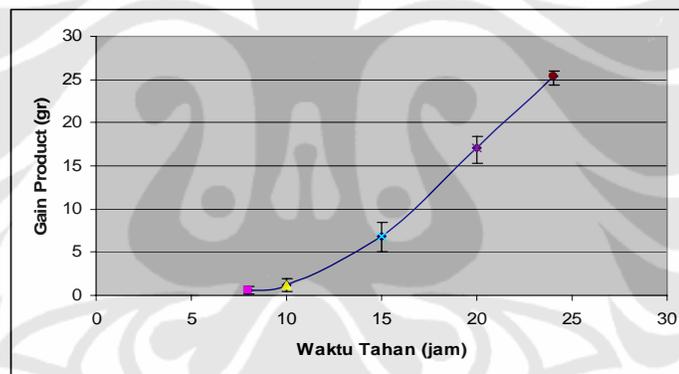
Menurut **Persamaan 2.2**, ketebalan lapisan *interfacial* sangat tergantung pada waktu tahan proses. Dengan semakin lamanya waktu tahan proses maka ketebalan lapisan *interfacial* akan meningkat, lapisan *interfacial* akan sangat mempengaruhi perilaku pembasahan, oleh karena itu kedalaman infiltrasi akan meningkat.

Hal ini juga berhubungan dengan kinetika proses, dimana dengan meningkatnya waktu tahan *firing* maka terjadi penguraian lapisan oksida sehingga energi bidang pisahnya akan menurun.<sup>[8]</sup> Ketika energi bidang pisah mulai menurun maka akan terjadi infiltrasi/difusi, semakin lama waktu tahan firing diaplikasikan maka infiltrasi/difusi leburan aluminium ke dalam *preform* semakin

baik. Ketebalan hasil difusi, mengacu pada persamaan Arrhenius, dipengaruhi oleh waktu tahan dan koefisien difusi.



Gambar 5.1 Pengaruh waktu tahan terhadap kedalaman infiltrasi Al terhadap *preform*.



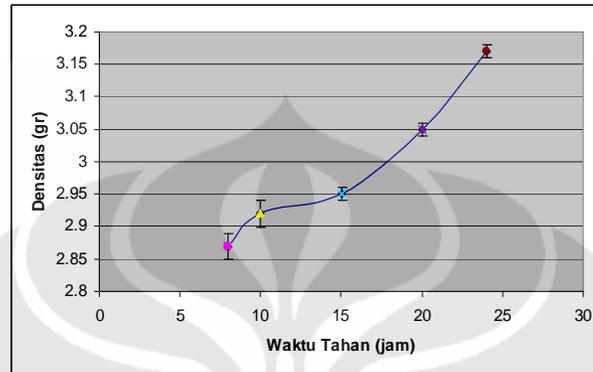
Gambar 5.2 Pengaruh waktu tahan terhadap penambahan berat produk CMCs yang terbentuk.

## 5.2 PENGARUH WAKTU TAHAN *FIRING* TERHADAP DENSITAS PRODUK CMCs

**Gambar 5.3** menunjukkan pengaruh waktu tahan terhadap densitas produk CMCs yang terbentuk. Densitas produk CMCs berbanding lurus dengan waktu tahan. Produk CMCs dengan nilai densitas tertinggi dihasilkan melalui firing dalam waktu tahan 24 jam.

Terjadinya peningkatan densitas produk CMCs menunjukkan telah terjadi perubahan persentase fasa pada CMCs tersebut. Dari fasa C dan Al menjadi C-

$\text{Al}_2\text{O}_3$ . Hal ini dibuktikan dengan range densitas produk yang berada pada kisaran  $2,267 - 3,9 \text{ gr/cm}^3$  ( range densitas C- $\text{Al}_2\text{O}_3$  ).

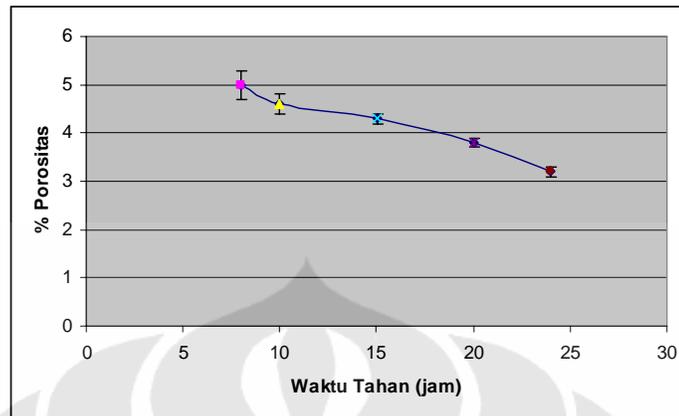


**Gambar 5.3** Pengaruh waktu tahan terhadap densitas produk CMCs yang terbentuk

### 5.3 PENGARUH WAKTU TAHAN *FIRING* TERHADAP POROSITAS PRODUK CMCs

Dari hasil pengamatan produk CMCs dapat dilihat bahwa CMCs memiliki topografi yang berpori yang tersebar merata sedangkan bagian dalamnya padat. Porositas terjadi akibat Al telah teroksidasi seluruhnya membentuk ceramic dan partikulat C telah dikonsumsi seluruhnya yang akan diinfiltrasi. Akhir dari proses ini adalah terbentuknya porositas yang merupakan saluran kapilaritas Al.<sup>[9]</sup>

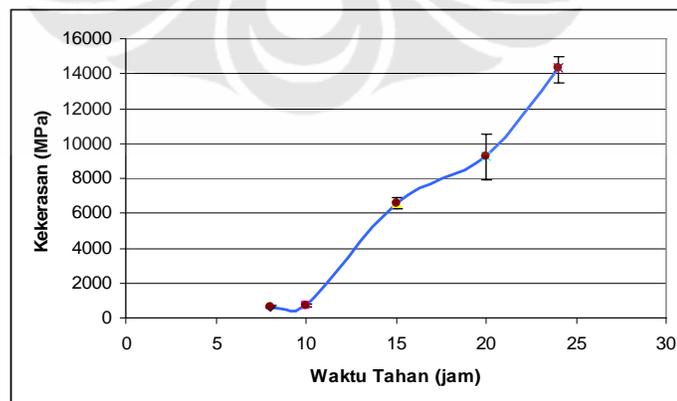
Semakin lama waktu tahan maka semakin banyak cairan Al yang diinfiltrasi ke permukaan C. Pada waktu tahan 8 jam, 10 jam, 15 jam, porositas yang terbentuk masih sedikit akibat masih berlangsungnya proses kapilaritas Al naik ke permukaan. Sedangkan pada waktu tahan 20jam, proses kapilaritas Al telah berhenti sebagian besar karena sebagian Al telah habis terinfiltrasi. Waktu tahan 24 jam, seluruh Al telah habis dikonsumsi habis sehingga menyisakan sumur pada permukaan berupa porositas.



Gambar 5.4 Pengaruh waktu Tahan terhadap Porositas yang terbentuk .

#### 5.4 PENGARUH WAKTU TAHAN *FIRING* TERHADAP KEKERASAN PRODUK CMCs

Nilai kekerasan mikro produk CMCs merupakan kombinasi dari berbagai nilai kekerasan fasa-fasa yang dapat ditemui dalam produk CMCs serta porositas produk CMCs tersebut. Porositas produk CMCs dapat mempengaruhi nilai kekerasan mikro terutama jika indenter saat proses pengujian kekerasan mikro mengenai daerah sekitar porositas. Pada penelitian ini kekerasan mikro produk CMCs hasil *firing* meningkat dengan bertambahnya waktu tahan *firing*. Nilai kekerasan mikro tertinggi diperoleh pada produk CMCs hasil firing pada waktu tahan 24 jam ( 14300 MPa).



Gambar 5.5 Grafik pengaruh waktu tahan terhadap kekerasan komposit.

Pada produk CMCs dengan waktu tahan 10 jam diperoleh nilai kekerasan 670 Mpa. Nilai kekerasan mikro ini termasuk dalam kisaran kekerasan Al. Belum terjadinya infiltrasi Al dan foto struktur mikro Al.

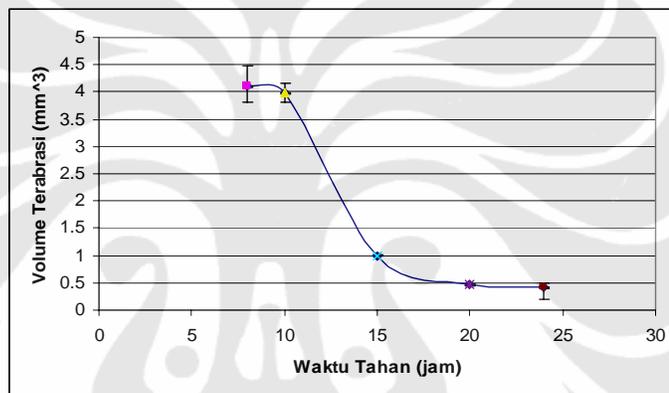
Pada produk CMCs hasil firing pada waktu tahan 15 jam diperoleh nilai kekerasan 6570 Mpa. Nilai kekerasan mikro ini masuk dalam kisaran kekerasan fasa *spinel*,  $MgAl_2O_4$ . Tingkat infiltrasi Al yang rendah dan foto struktur mikro produk dengan porositas produk yang cukup tinggi dapat menjadi indikasi kehadiran *spinel*. Berdasarkan hasil pengujian komposisi kimia dengan EDS dibuktikan bahwa pada permukaan yang terdapat porositas ditemui kandungan unsur Mg. Hal ini membuktikan bahwa permukaan yang memiliki porositas yang cukup tinggi mengindikasikan kehadiran *spinel*,  $MgAl_2O_4$ . Hal ini sesuai dengan pendapat Manor, dkk <sup>[10]</sup> bahwa pertumbuhan matriks yang didahului dengan pembentukan *spinel*,  $MgAl_2O_4$ , tidak akan mampu menutup jarak antar partikel prabentuk yang pada akhirnya akan membentuk cacat *void* (porositas).

Terjadinya peningkatan kekerasan yang signifikan dari waktu tahan 10 jam ke 24 jam menunjukkan bahwa telah terjadi perubahan fasa yang terbentuk pada produk CMCs hasil firing pada waktu tahan 10 jam ke 24 jam. Nilai kekerasan mikro produk CMCs yang dihasilkan jauh diatas nilai kekerasan paduan Al yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa produk CMCs yang dihasilkan telah memiliki struktur mikro yang jauh berbeda dari struktur mikro paduan Al. Nilai kekerasan yang terletak pada kisaran 14300 Mpa memperlihatkan bahwa produk CMCs yang dihasilkan pada struktur mikronya dapat ditemukan adanya fasa  $Al_2O_3$ .

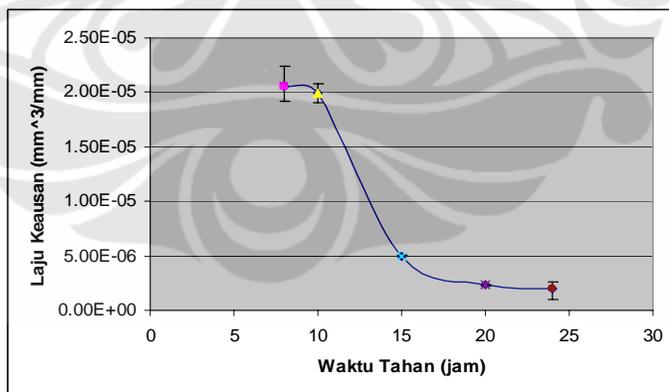
## **5.5 PENGARUH WAKTU TAHAN *FIRING* TERHADAP KEAUSAN PRODUK CMCs**

Keausan sebagai rusaknya permukaan padatan, melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar. Material apapun dapat mengalami keausan yang disebabkan beragam mekanisme.

Faktor utama yang mempengaruhi karakteristik keausan pada material adalah kekerasan, komposisi kimia, struktur mikro, kontak material, beban, kecepatan gesekan, dan kehalusan permukaan. Produk CMCs diuji keausan dengan Metode Ogoshi, dimana benda uji diberi beban gesek dari cincin yang berputar. Pembebanan gesek ini akan menghasilkan kontak antar muka yang berulang – ulang yang pada akan merusak sebagian material pada permukaan benda uji. Besarnya jejak permukaan dari material tergesek itulah yang dijadikan dasar penentuan tingkat keausan pada material. Berikut ini akan disajikan grafik volume terabrasi dan laju keausan produk CMCs:



**Gambar 5.6** Grafik Volume Terabrasi Produk CMCs.



**Gambar 5.7** Grafik Laju Keausan Produk CMCs.

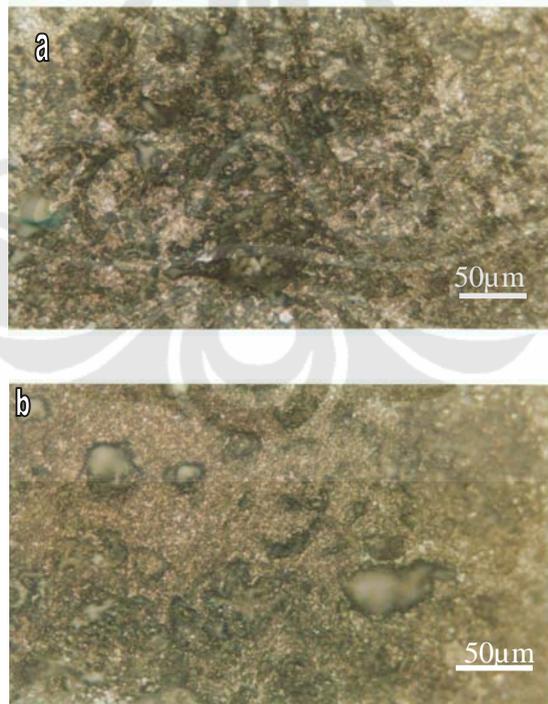
Karakteristik dari keausan adalah semakin tinggi nilai kekerasannya, maka semakin sedikit material yang terabrasi. Semakin luas dan dalam jejak keausan maka semakin tinggi volume material yang terlepas dari benda uji. Semakin sedikit material yang terabrasi berarti material tersebut memiliki ketahanan aus

yang tinggi. Begitu juga halnya dengan data yang diperoleh dari pengujian keausan ini.

Dari grafik di atas, laju keausan dan volume yang terabrasi pada temperatur *firing*, 1100°C dengan waktu tahan 8 jam, 10 jam, 15 jam, 20 jam dan 24 jam sesuai dengan literatur, yaitu nilai laju keausan berbanding terbalik dengan nilai kekerasannya. Semakin kecil nilai laju keausan dan volum material yang terabrasi maka semakin tinggi kekerasan.

### 5.6 PENGARUH TEMPERATUR *FIRING* TERHADAP STRUKTUR MIKRO PRODUK CMCs

Pengamatan struktur mikro dilakukan terhadap produk CMCs C/Al. Produk CMCs C / Al memiliki penampilan yang agak kasar, berpori dan berwarna hitam gelap. Berikut ini akan ditampilkan gambar yang menunjukkan produk CMCs C/Al :



**Gambar 5.8** Hasil pengamatan struktur mikro pada produk CMCs C / Al dengan temperatur *firing* 1100°C dan waktu tahan 24 jam. (a) daerah dekat pinggir; (b) daerah tengah CMCs.

Dari gambar di atas, struktur mikro yang berwarna hijau tua merupakan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Warna hijau tua dapat dilihat dengan lebih jelas dengan memakai perbesaran yang lebih memakai komputer. Struktur mikro dengan warna kecoklatan merupakan grafit. Sedangkan struktur mikro yang berwarna putih adalah aluminium sisa. Serbuk grafitnya tersebar merata meskipun juga ditemukan struktur mikro  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan sedikit Al sisa di daerah dekat pinggir dan daerah pinggir.

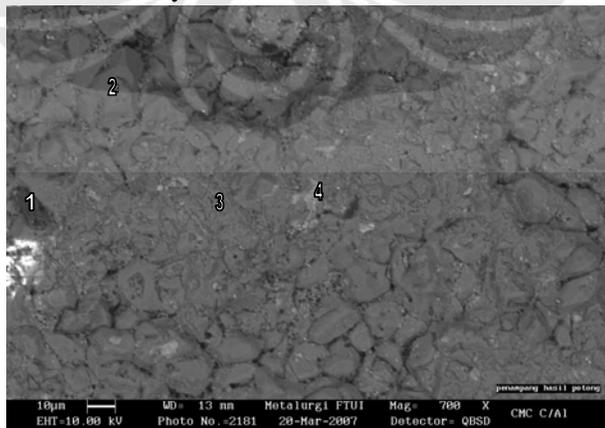
Hal ini diperkuat dari hasil pengamatan SEM dan EDS berdasarkan perbedaan gradien warna yang dihasilkan pada gambar SEM (Gambar 5.8). Titik 1 yang berwarna hitam merupakan grafit, titik 2 dan 3 yang berwarna abu-abu merupakan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , dan titik 4 yang berwarna putih keabu-abuan merupakan saluran Al ( Al channel) yang dapat berupa AlSi. Hal ini berarti proses pembasahannya berlangsung dengan baik dan terjadi reaksi antar muka sehingga terbentuk *interfacial layer* sesuai reaksi di bawah ini :



MgO akan bereaksi dengan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  membentuk spinel,  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , yang mendorong terjadinya pembasahan pada permukaan grafit.

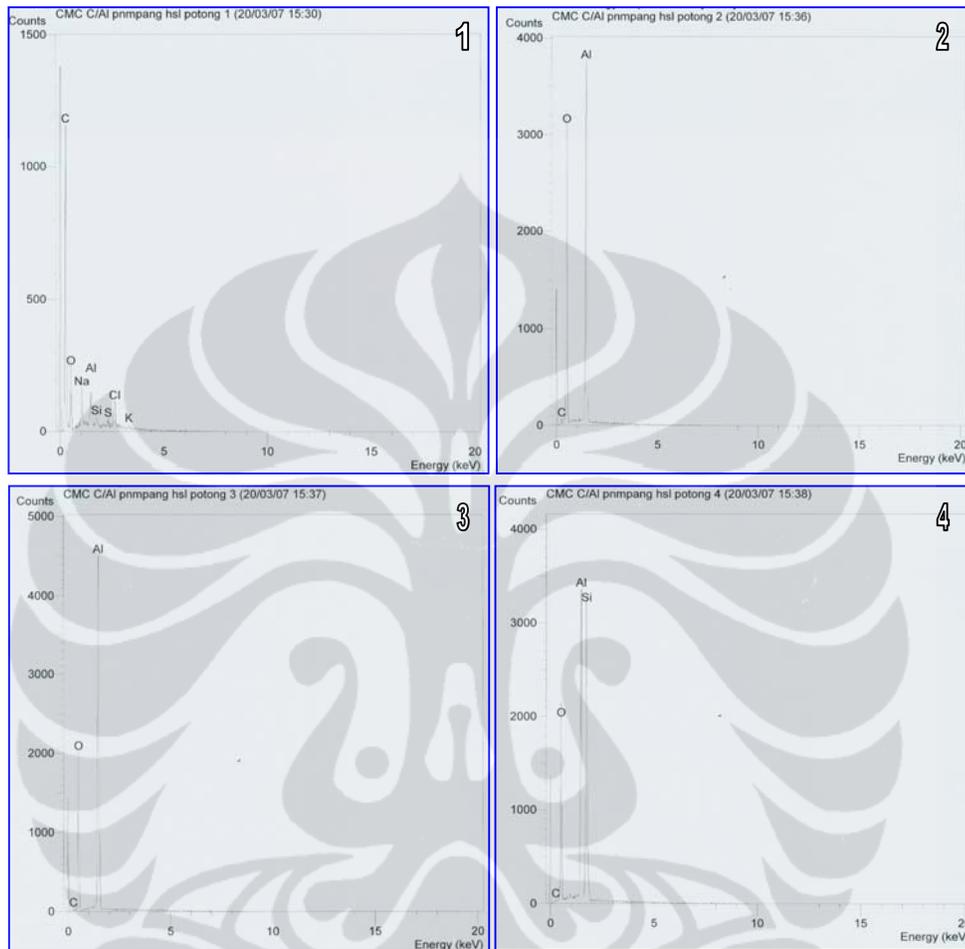


Spinel yang terbentuk akan beraksi dengan leburan Al dan menghasilkan  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Pengamatan struktur mikro juga dilakukan dengan menggunakan SEM. Berikut ini merupakan struktur mikronya:



**Gambar 5.9** Hasil pengamatan SEM pada produk CMCs C / Al dengan temperatur *firing*  $1100^\circ\text{C}$  dan waktu tahan 24 jam . Daerah diberi nomor adalah daerah yang diuji komposisi kimianya.

Dari gambar di atas dapat diketahui komposisi kimianya. Berikut ini adalah hasil pengujian komposisi kimia masing - masing *spot*:



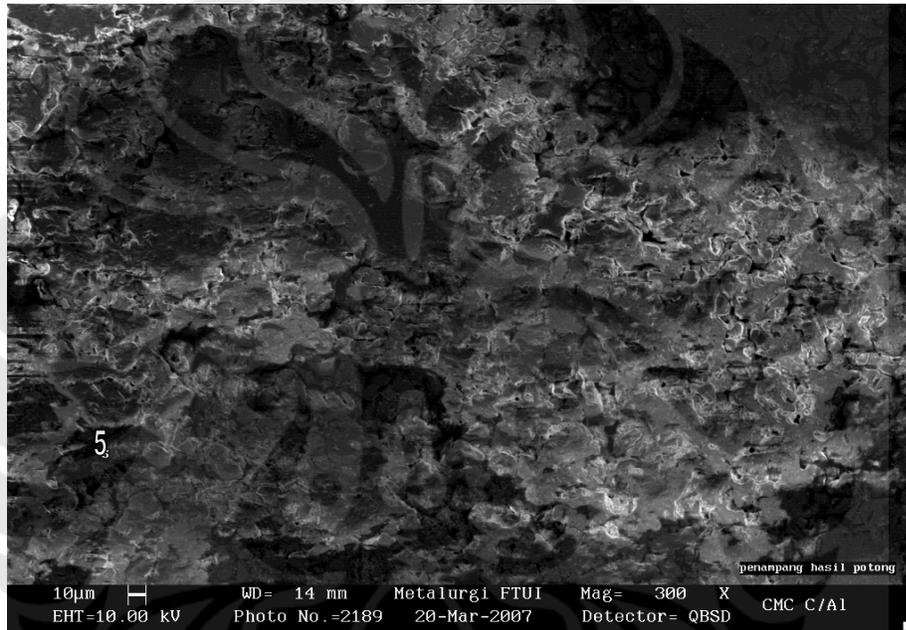
**Gambar 5.10** Hasil pengujian komposisi kimia pada produk CMCs C / Al dengan temperatur *firing* 1100°C dan waktu tahan 24 jam (a).

Berikut ini adalah tabel komposisi kimia masing – masing *spot*, yaitu :

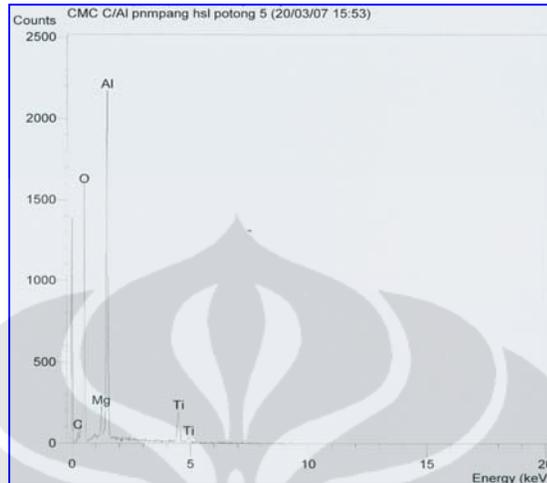
**Tabel 5.1** : Komposisi Kimia & Indikasi Fasa masing – masing *Spot*

No Spot	Komposisi Kimia (%Wt)								Indikasi Fasa
	C	O	Al	Si	Na	S	Cl	K	
1	30,1	28,04	4,76	0,93	9,91	0,84	22,92	2,5	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub>
2	0,6	52,98	46,42	-	-	-	-	-	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>
3	0,45	40,75	58,8	-	-	-	-	-	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub>
4	0,54	37,5	34,17	27,79	-	-	-	-	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> , AlSi

Dari 4 titik uji coba, selalu terdapat unsur C, O dan Al.. Pada *spot* 1, terdapat kandungan unsur yang jarang ditemui pada *spot* yang lain antara lain : Na, Si, S, Cl, dan K. Unsur – unsur ini merupakan inklusi dan berasal dari paduan Al yang digunakan. Selain itu, juga ada unsur Si yang ditemui pada *spot* 1 dan 4. Si merupakan unsur sisa dari Al alloys yang mengendap pada porositas.<sup>[9]</sup> Terbentuknya endapan Si ini akibat Si membutuhkan suhu yang lebih tinggi untuk menguapkannya.



**Gambar 5.11** : Hasil pengamatan SEM pada produk CMCs C / Al dengan temperatur *firing* 1100°C dan waktu tahan 24 jam . Daerah (5) merupakan daerah penampang hasil potong bagian yang berwarna hitam, yang merupakan mikroporositas dan daerah tersebut diuji komposisi kimianya.



**Gambar 5.12** Hasil pengujian komposisi kimia pada produk CMCs C / Al dengan temperatur *firing* 1100°C dan waktu tahan 24 jam . Berikut ini adalah tabel komposisi kimia *spot* 5 yaitu :

**Tabel 5.2 :** Komposisi Kimia & Indikasi Fasa *Spot* 5

No Spot	Komposisi Kimia (% Wt)					Indikasi Fasa
	C	O	Al	Mg	Ti	
5	0,35	47,67	32,08	1,86	18,04	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Al <sub>4</sub> C <sub>3</sub> , MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , TiAl <sub>3</sub>

Dari tabel komposisi kimia *spot* 5 di atas, menunjukkan indikasi dari kehadiran fasa – fasa pada produk komposit, antara lain: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Al<sub>4</sub>C<sub>3</sub>, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, dan TiAl<sub>3</sub>. Dengan demikian, kita dapat menyimpulkan bahwa daerah yang terdapat porositas, memiliki unsur Mg. Hal ini mengindikasikan bahwa pada daerah tersebut terbentuk senyawa MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> sebagai produk yang mampu mengikat antara matriks dan *filler*. Kesimpulan ini diperkuat dengan pernyataan bahwa pertumbuhan matriks yang didahului dengan pembentukan spinel, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, tidak akan mampu menutup jarak antar partikel prabentuk yang pada akhirnya akan membentuk cacat *void* (porositas).<sup>[10]</sup>

Berdasarkan data – data hasil pengamatan struktur mikro dan hasil pengujian komposisi kimia dapat disimpulkan bahwa dalam produk CMCs yang terbentuk, terdapat 3 (tiga) fasa dalam sistem kompositnya yaitu C / Al, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> / Al dan C / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Pada produk CMCs tepatnya daerah sekitar partikel grafit dapat ditemui adanya Al, spinel (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), dan Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.