

**LAMPIRAN 1**  
**DATA PERTAMBAHAN BERAT (GAIN PRODUCT)**  
**DAN KEDALAMAN INFILTRASI PRODUK CMCs**  
**YANG TERBENTUK**

Tabel Data Pertambahan Berat (*Gain Product*) Produk CMC C/Al

Waktu	No	Al (g) $P = 2.74$ g	C ( 50% Vf – Al), $P = 2.267$ gr/cm <sup>3</sup> .	Mg (10% Al) ( gr)	Berat Produk ( gr)	Berat CMC ( gr)	- <i>m</i> (gr)
8	1.	23.31	9.643	2.331	24.31	1	0.54 6
	2.	23.62	9.7712	2.362	23.77	0.15	
	3.	23.66	9.7878	2.366	24.15	0.49	
10	4.	23.2	9.64	2.317	24.36	1.16	1.18 6
	5.	23.23	9.66	2.317	23.68	0.45	
	6.	23.2	9.6	2.317	25.15	1.95	
15	7.	22.75	9.411	2.275	27.83	5.08	6.79 5
	8.	23.4	9.68	2.34	-	-	
	9.	22.85	9.452	2.285	31.36	8.51	
20	10.	23.12	9.5644	2.312	40.75	17.63	17.1 2
	11.	22.29	9.221	2.229	37.57	15.28	
	12.	22.75	9.585	2.317	41.2	18.45	
24	13.	25.54	10.201	2.554	53,51	25.97	25.4 3
	14.	25.10	10.201	2.51	53,03	25.93	
	15	25.53	10.201	2.553	51,94	24.41	

Tabel Kedalaman Infiltrasi (*Depth Infiltration*) Al

Waktu Tahan (jam)	No	Kedalaman Infiltrasi (mm)	Rata-rata (mm)
8	1	0.15	0.096
	2	0.05	
	3	0.09	
10	4	0.24	0.22
	5	0.09	
	6	0.34	
15	7	1.1	1.25
	9	1.4	
20	10	2.6	2.58
	11	2.4	
	12	2.75	
24	13	3.3	3.25
	14	3.25	
	15	3.2	



**LAMPIRAN 2**  
**DATA PENGUJIAN DENSITAS PRODUK CMCs**

Tabel Data Densitas.

No. Sample	Temperatur Firing ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu Tahan (Jam)	Densitas ( $\text{gr} / \text{cm}^3$ )	Rata - rata ( $\text{gr} / \text{cm}^3$ )	Standard Deviasi ( $\tau_c$ )
1	1100	8	2.85	2.87	0.042426
2			2.89		
4	1100	10	2.9	2.92	0.056569
5			2.94		
7	1100	15	2.96	2.95	0.014142
9			2.94		
10	1100	20	3.04	3.05	0.014142
11			3.06		
13	1100	24	3.16	3.17	0.014142
14			3.18		



**LAMPIRAN 3**  
**DATA PENGUJIAN POROSITAS PRODUK CMCs**

Tabel Data Pengujian Porositas Produk CMC C/Al.

No. Sample	Temperatur Firing ( $^{\circ}\text{C}$ )	Waktu Tahan (Jam)	Porositas (%)	Rata – rata (%)	Standard Deviasi ( $\tau_c$ )
1	1100	8	5.3	5	0.318198
2			4.7		
4	1100	10	4.8	4.6	0.671789
5			4.4		
7	1100	15	4.4	4.3	0.042426
9			4.2		
10	1100	20	3.9	3.8	0.707107
11			3.7		
13	1100	24	3.3	3.2	1.202082
14			3.1		



**LAMPIRAN 4**  
**DATA PENGUJIAN KEKERASAN MIKRO**

Tabel Pengujian Kekerasan Mikro Produk CMC C/Al

No.	Waktu Tahan (jam)	d1(mm)	d2	d*	Kekerasan Mikro (MPa)	$\bar{X}$	$\tau_c$	$\bar{X}$	$\tau_c$
1	8	0.191	0.185	0.188	514	630	99.75	639	93
		0.176	0.175	0.1755	590				
		0.152	0.152	0.152	787				
		0.174	0.164	0.169	636				
		0.167	0.175	0.171	622				
2		0.176	0.171	0.174	604	590	67.6		
		0.183	0.182	0.182	546				
		0.181	0.178	0.18	564				
		0.186	0.183	0.18	534				
		0.164	0.158	0.161	701				
3	0.147	0.141	0.144	877	697	133			
	0.158	0.151	0.15	762					
	0.175	0.175	0.175	594					
	0.151	0.169	0.16	710					
	0.187	0.179	0.183	543					



Tabel Pengujian Kekerasan Mikro Produk CMC C/Al, lanjutan

No.	Waktu Tahan (jam)	d1(mm)	d2	d*	Kekerasan Mikro ( MPa )	$\bar{x}$	$\tau_c$	$\bar{x}$	$\tau_c$
4	10	0.16	0.153	0.1565	742	764	150	700.	147.5
		0.172	0.153	0.1625	688				
		0.169	0.17	0.1695	633				
		0.135	0.132	0.1335	1020				
		0.154	0.16	0.157	737				
5		0.169	0.169	0.169	636.	645.	227		
		0.167	0.165	0.166	660				
		0.134	0.134	0.134	1012.5				
		0.207	0.205	0.206	429				
		0.193	0.193	0.193	488				
6	0.15	0.156	0.153	776	692	86.5			
	0.168	0.166	0.167	652					
	0.178	0.18	0.179	567					
	0.147	0.176	0.1615	697					
	0.159	0.149	0.154	767					

Tabel Pengujian Kekerasan Mikro Produk CMC C/Al, lanjutan

No.	Waktu Tahan (jam)	d1(mm)	d2	d*	Kekerasan Mikro ( MPa )	$\bar{x}$	$\tau_c$	$\bar{x}$	$\tau_c$
7	15	0.071	0.07	0.0705	3658	6263	3163	6570	2046
		0.049	0.039	0.044	9391				
		0.094	0.09	0.092	2148				
		0.048	0.046	0.047	8230				
		0.051	0.045	0.048	7891				
9		0.044	0.046	0.045	8978	6877	2387		
		0.047	0.047	0.047	8230				
		0.039	0.053	0.046	8592				
		0.065	0.06	0.0625	4654				
		0.067	0.069	0.068	3932				

Tabel Pengujian Kekerasan Mikro Produk CMC C/Al, lanjutan

No.	Waktu Tahan (jam)	d1(mm)	d2	d*	Kekerasan Mikro ( MPa )	$\bar{X}$	$\tau_c$	$\bar{X}$	$\tau_c$
10	20	0.035	0.047	0.041	10815	7943	2417	9236	2203
		0.048	0.049	0.0485	7729				
		0.045	0.041	0.043	9833				
		0.053	0.053	0.053	6472				
		0.063	0.059	0.061	4886				
11		0.037	0.042	0.0395	11652	11202	1068		
		0.039	0.047	0.043	9836				
		0.042	0.042	0.042	10306				
		0.035	0.043	0.039	11953				
		0.042	0.035	0.0385	12265				
12	0.042	0.045	0.0435	9608	8560	3348			
	0.041	0.032	0.0365	13646					
	0.057	0.05	0.0535	6352					
	0.047	0.047	0.047	8230					
	0.062	0.059	0.0605	4967					

Tabel Pengujian Kekerasan Mikro Produk CMC C/Al, lanjutan

No.	Waktu Tahan (jam)	d1(mm)	d2	d*	Kekerasan Mikro ( MPa )	$\bar{X}$	$\tau_c$	$\bar{X}$	$\tau_c$
13	24	0.047	0.0478	0.0474	14500	14400	667	14300	542
		0.046	0.0472	0.0466	14000				
		0.05	0.049	0.0495	14800				
		0.049	0.047	0.048	13500				
		0.048	0.0472	0.0476	15200				
14		0.049	0.0494	0.0492	14800	15000	696		
		0.052	0.048	0.05	15500				
		0.048	0.049	0.0485	15800				
		0.052	0.05	0.051	14000				
		0.049	0.052	0.0496	14900				
15		0.048	0.0474	0.0476	14000	13500	412		
		0.046	0.0472	0.0466	13800				
		0.048	0.0484	0.0482	13500				
		0.046	0.044	0.045	13000				
		0.047	0.0478	0.0474	13200				



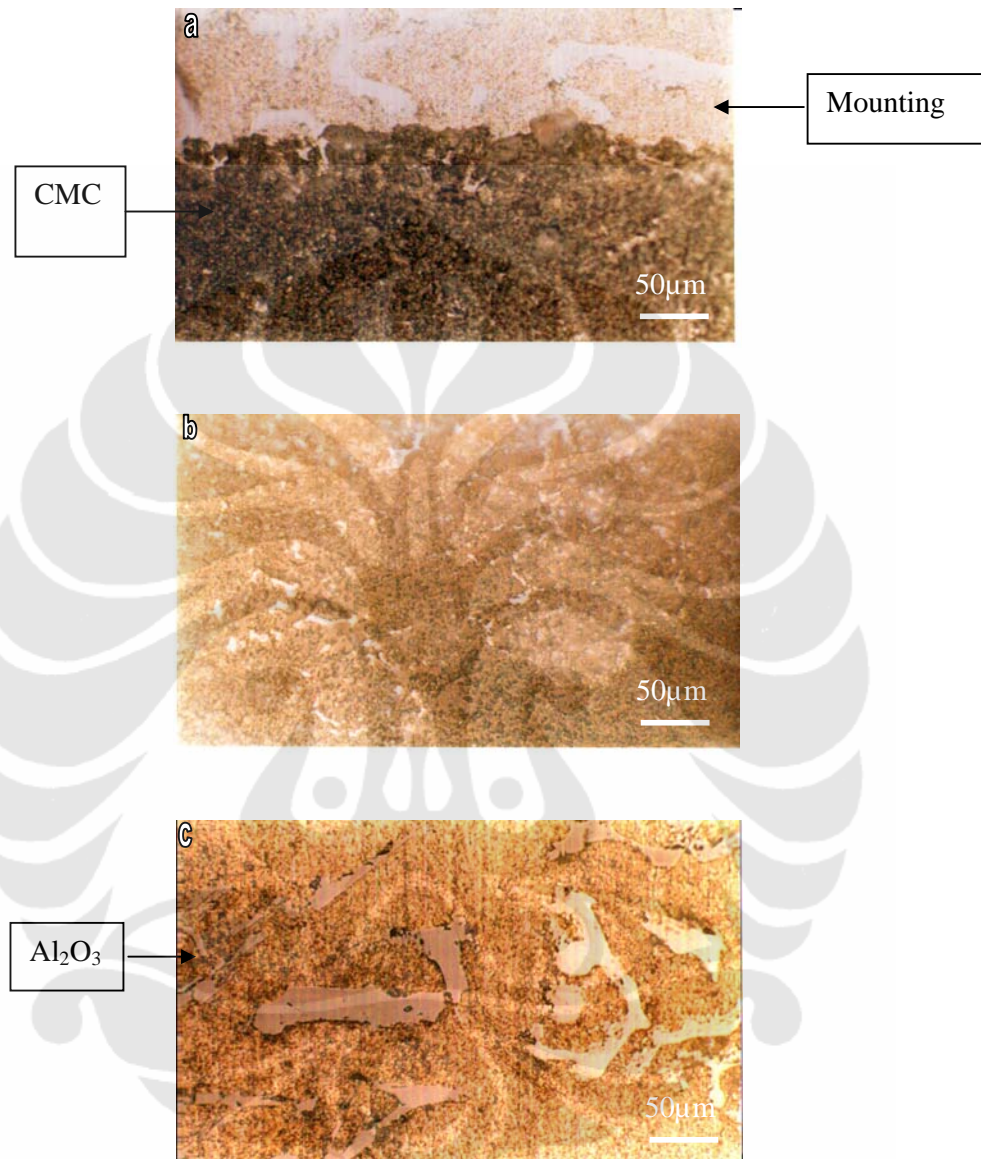
**LAMPIRAN 5**  
**DATA PENGUJIAN KEAUSAN**

Tabel Data Pengujian Aus Produk CMC C/Al

No	Waktu Tahan (jam)	Data Aus (mm)	Volume Terabrasi (mm <sup>3</sup> )	$\bar{x}$	$\tau_c$	Laju Keausan (mm <sup>3</sup> /mm)	$\bar{x}$	$\tau_c$
1	8	6.252	4.48	4.1	0.34	22.425x10 <sup>-6</sup>	20.5x10 <sup>-6</sup>	1.7x10 <sup>-6</sup>
2		5.928	3.82			19.148x10 <sup>-6</sup>		
3		6.02	4			20.065x10 <sup>-6</sup>		
4	10	6.291	4.15	3.98	0.17	20.753x10 <sup>-6</sup>	19.9x10 <sup>-6</sup>	8.76x10 <sup>-7</sup>
5		6.846	3.8			19x10 <sup>-6</sup>		
6		4.329	3.99			19.95x10 <sup>-6</sup>		
7	15	3.799	1.01	0.995	0.02	5.026x10 <sup>-6</sup>	4.96x10 <sup>-6</sup>	1.06x10 <sup>-7</sup>
9		3.767	0.98			4.9x10 <sup>-6</sup>		
10	20	2.97	0.480	0.467	0.014	2.4x10 <sup>-6</sup>	2.33x10 <sup>-6</sup>	7.37x10 <sup>-7</sup>
11		2.908	0.451			2.255x10 <sup>-6</sup>		
12		2.948	0.47			2.35x10 <sup>-6</sup>		
13	24	3.02	0.50	0.409	0.188	2.5248x10 <sup>-6</sup>	2.03x10 <sup>-6</sup>	9.41x10 <sup>-7</sup>
14		2.18	0.19			9.4969x10 <sup>-7</sup>		
15		3.06	0.53			2.6265x10 <sup>-6</sup>		

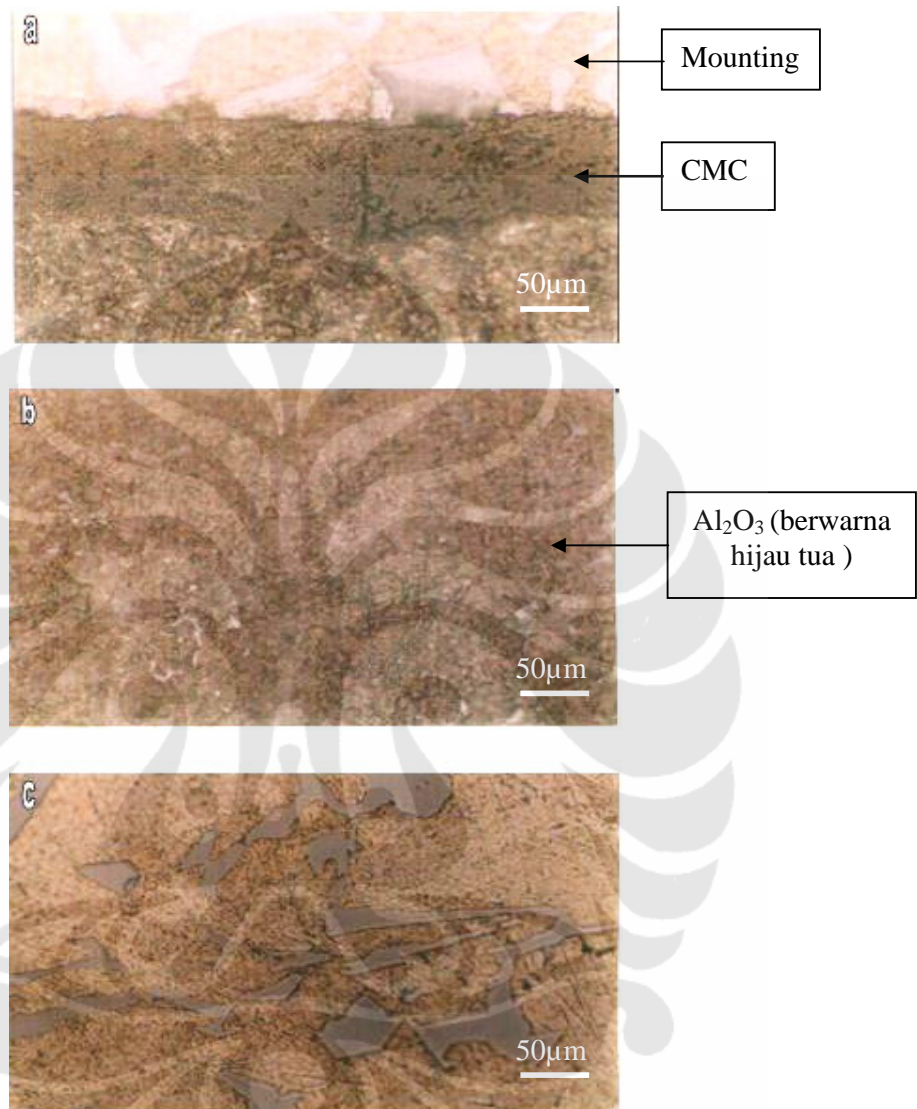


**LAMPIRAN 6**  
**FOTO STRUKTUR MIKRO**

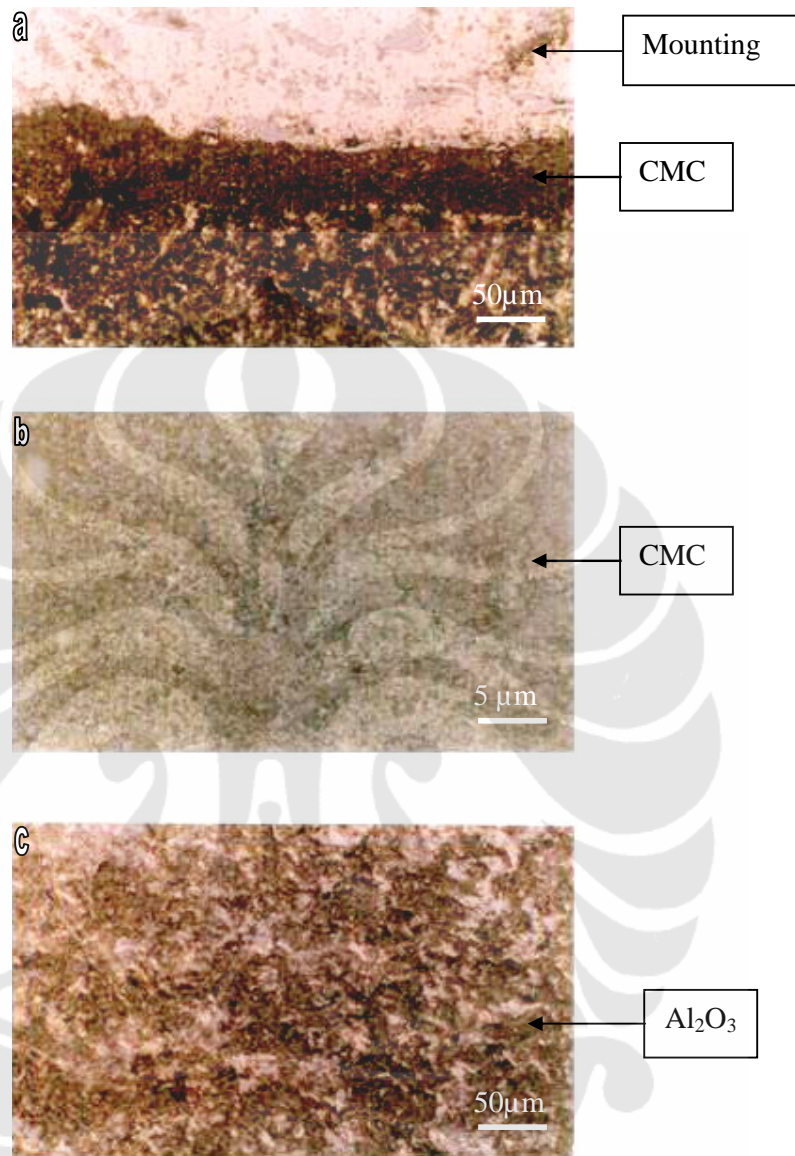


**Gambar 1** Struktur mikro produk CMCs hasil firing pada suhu 1100<sup>0</sup>C, dengan waktu tahan 8 jam. (a) daerah interfase; (b) daerah dekat interfase; (c) daerah Al

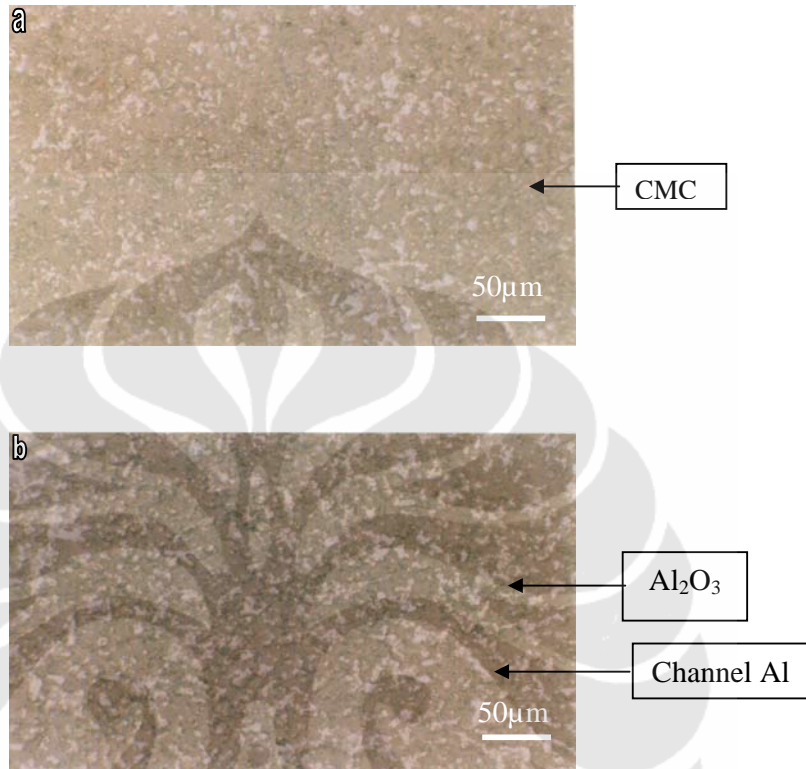




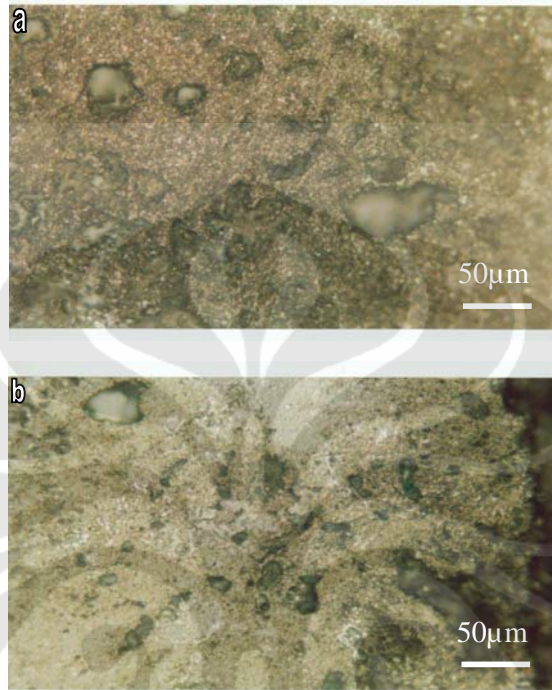
**Gambar 2** Struktur mikro produk CMCs hasil firing pada suhu 1100<sup>0</sup>C, dengan waktu tahan 10 jam. (a) daerah interfase; (b) daerah dekat interfase; (c) daerah Al



**Gambar 3** 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



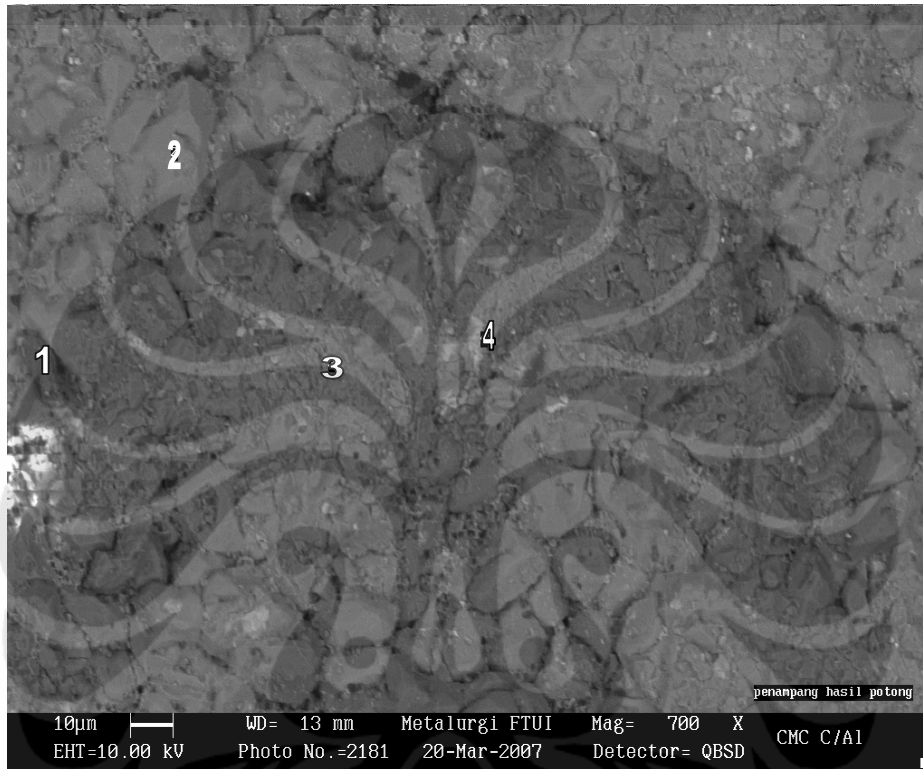
**Gambar 4** Struktur mikro produk CMCs hasil firing pada suhu 1100<sup>0</sup>C, dengan waktu tahan 20 jam. (a) Daerah CMCs ; (b) daerah dekat interfase



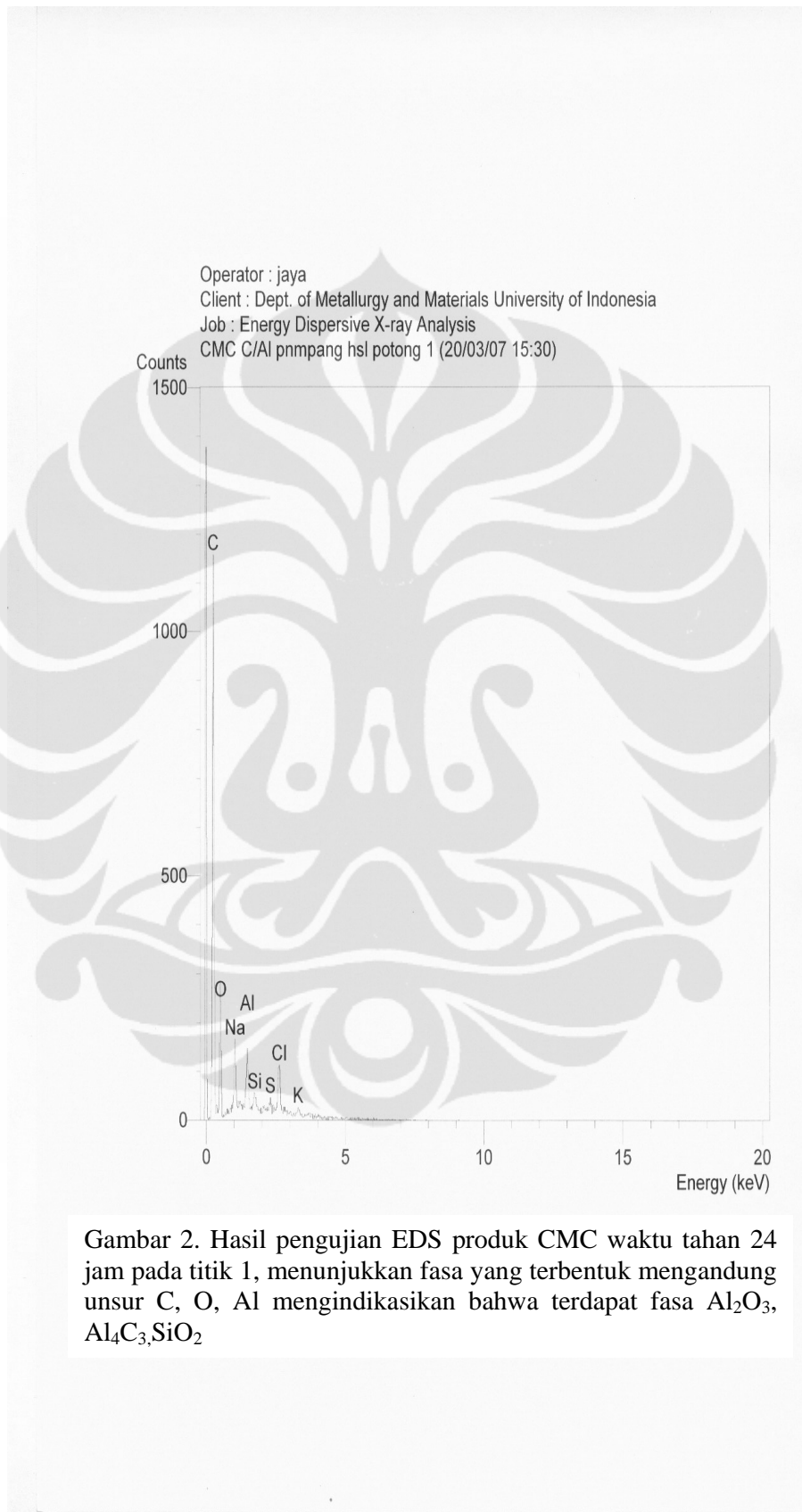
**Gambar 5** Struktur mikro produk CMCs hasil firing pada suhu  $1100^{\circ}\text{C}$ , dengan waktu tahan 24 jam. (a) Daerah tengah CMCs ; (b) daerah pinggir.



**LAMPIRAN 7**  
**HASIL PENGAMATAN SEM & DATA PENGUJIAN**  
**KOMPOSISI KIMIA**



Gambar 1. Hasil pengamatan SEM pada produk CMCs C / Al dengan temperatur *firing* 1100°C dan waktu tahan 24 jam . Daerah diberi nomor adalah daerah yang diuji komposisi kimianya.



Gambar 2. Hasil pengujian EDS produk CMC waktu tahan 24 jam pada titik 1, menunjukkan fasa yang terbentuk mengandung unsur C, O, Al mengindikasikan bahwa terdapat fasa  $Al_2O_3$ ,  $Al_4C_3$ ,  $SiO_2$

SEMQuant results. Listed at 15:35:58 on 20/03/07  
Operator: jaya  
Client: Dept. of Metallurgy and Materials University of Indonesia  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: CMC C/Al pmpang hsl potong 1

System resolution = 61 eV

Quantitative method: ZAF ( 4 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

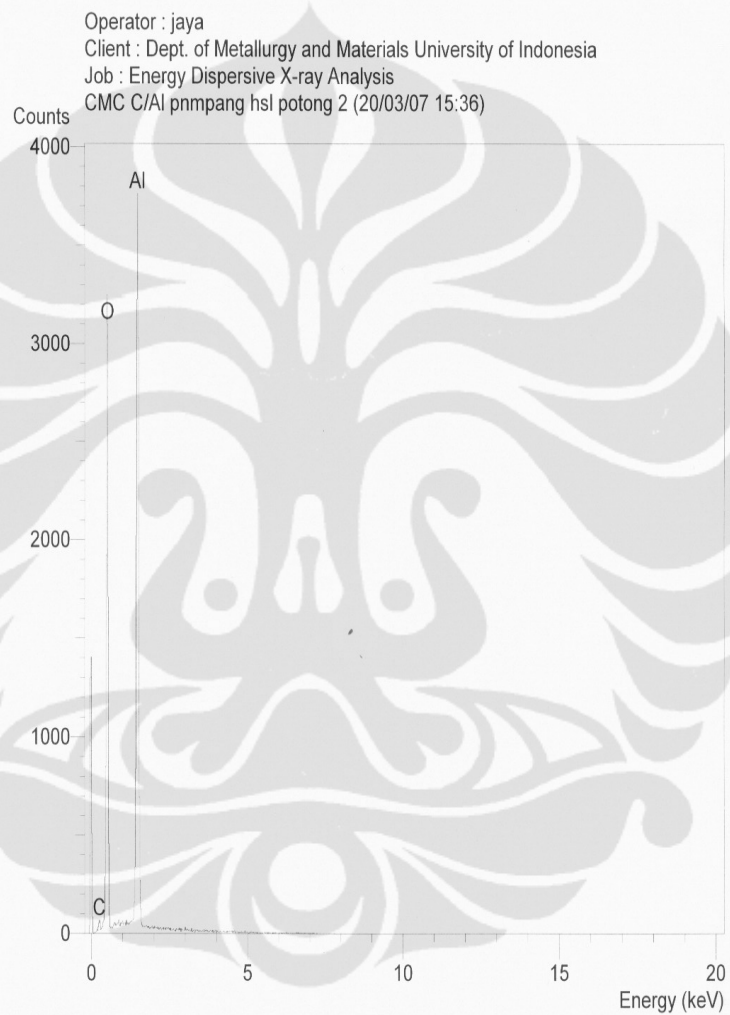
Standards :

C K	Carbon Low	13/09/06
O K	AL2O3	22/03/06
Na K	Orthoclase	22/03/06
Al K	CeAl2	03/03/07
Si K	Low Carbon Steel	13/09/06
S K	FeS2	22/03/06
Cl K	KCl	15/02/94
K K	Orthoclase	22/03/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	30.10	44.47
O K	ED	28.04	31.10
Na K	ED	9.91	7.65
Al K	ED	4.76	3.13
Si K	ED	0.93	0.59
S K	ED	0.84	0.46
Cl K	ED	22.92	11.47
K K	ED	2.50	1.13
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma





Gambar 3. Hasil pengujian EDS produk CMC waktu tahan 24 jam pada titik 2, menunjukkan fasa yang terbentuk mengandung unsur C, O, Al mengindikasikan bahwa terdapat fasa  $Al_2O_3$ ,  $Al_4C_3$ .

SEMQuant results. Listed at 15:37:27 on 20/03/07  
Operator: jaya  
Client: Dept. of Metallurgy and Materials University of Indonesia  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: CMC C/Al pmpang hsl potong 2

System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF ( 3 iterations),  
Analysed all elements and normalised results.

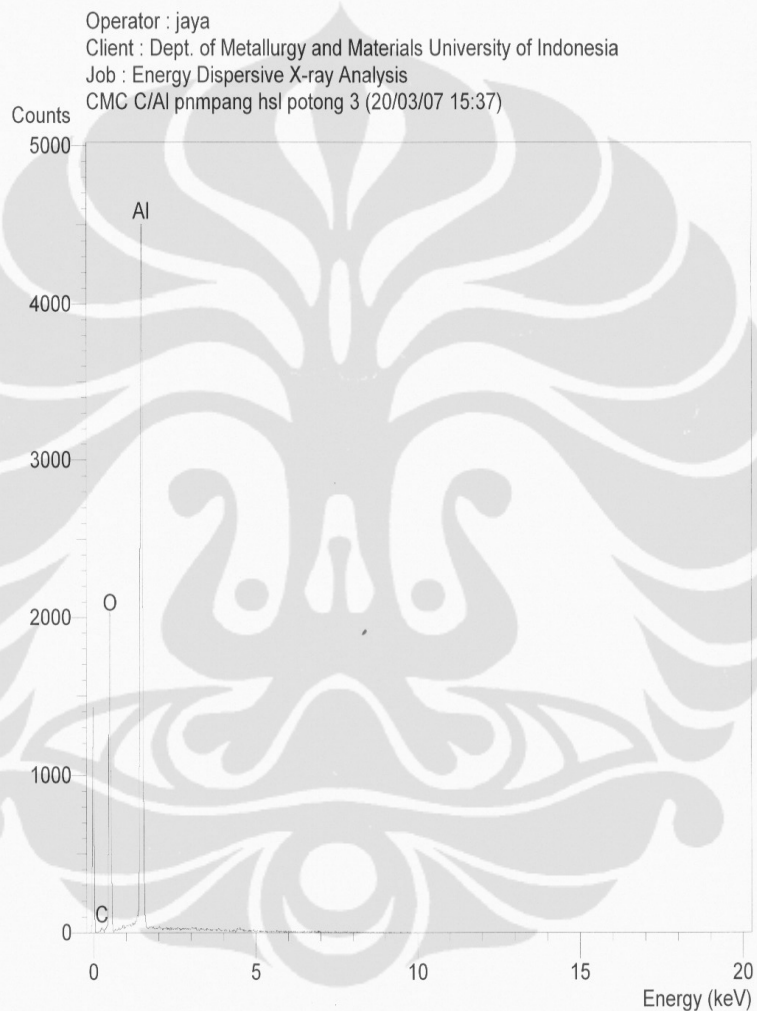
1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06  
O K AL2O3 22/03/06  
Al K CeAl2 03/03/07

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.60	0.99
O K	ED	52.98	65.16
Al K	ED	46.42	33.85
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



Gambar 4. Hasil pengujian EDS produk CMC waktu tahan 24 jam pada titik 3, menunjukkan fasa yang terbentuk mengandung unsur C, O, Al mengindikasikan bahwa terdapat fasa  $Al_2O_3$ ,  $Al_4C_3$ .

SEMQuant results. Listed at 15:38:50 on 20/03/07  
Operator: jaya  
Client: Dept. of Metallurgy and Materials University of Indonesia  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: CMC C/Al pmpang hsl potong 3

System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF ( 2 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

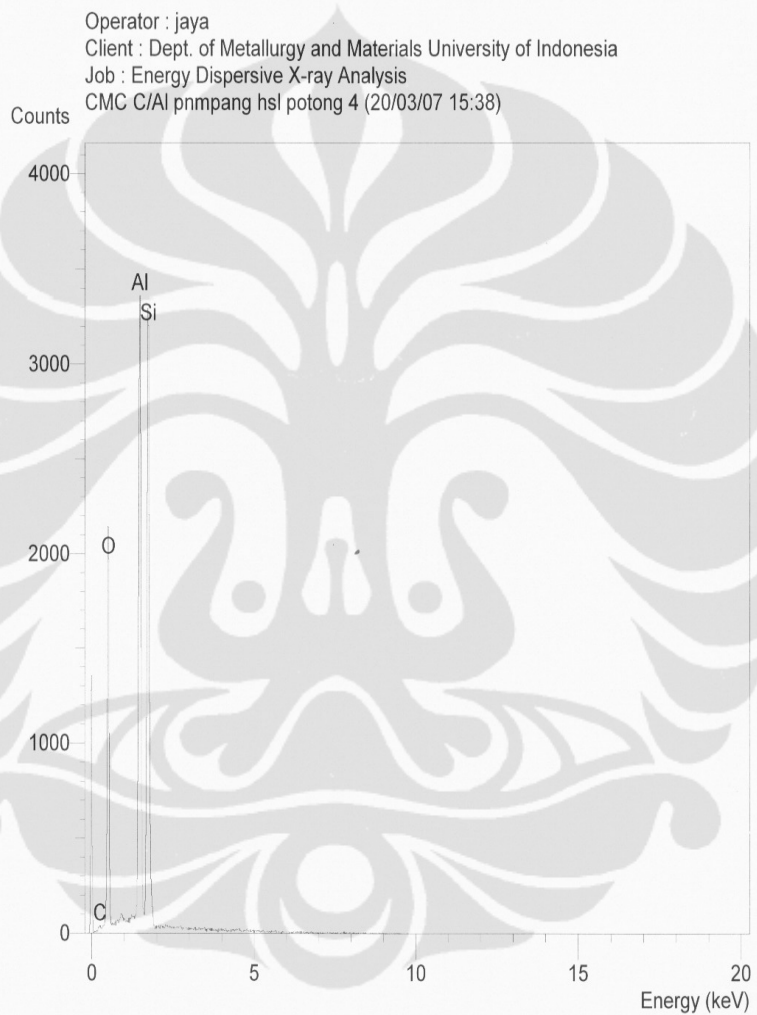
2 peaks possibly omitted: -0.02, 4.50 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06  
O K AL2O3 22/03/06  
Al K CeAl2 03/03/07

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.45	0.79
O K	ED	40.75	53.47
Al K	ED	58.80	45.74
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



Gambar 5. Hasil pengujian EDS produk CMC waktu tahan 24 jam pada titik 4, menunjukkan fasa yang terbentuk mengandung unsur C, O, Al mengindikasikan bahwa terdapat fasa  $Al_2O_3$ ,  $Al_4C_3$ ,  $SiO_2$

SEMQuant results. Listed at 15:40:03 on 20/03/07  
Operator: jaya  
Client: Dept. of Metallurgy and Materials University of Indonesia  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: CMC C/Al pmpang hsl potong 4

System resolution = 59 eV

Quantitative method: ZAF ( 4 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

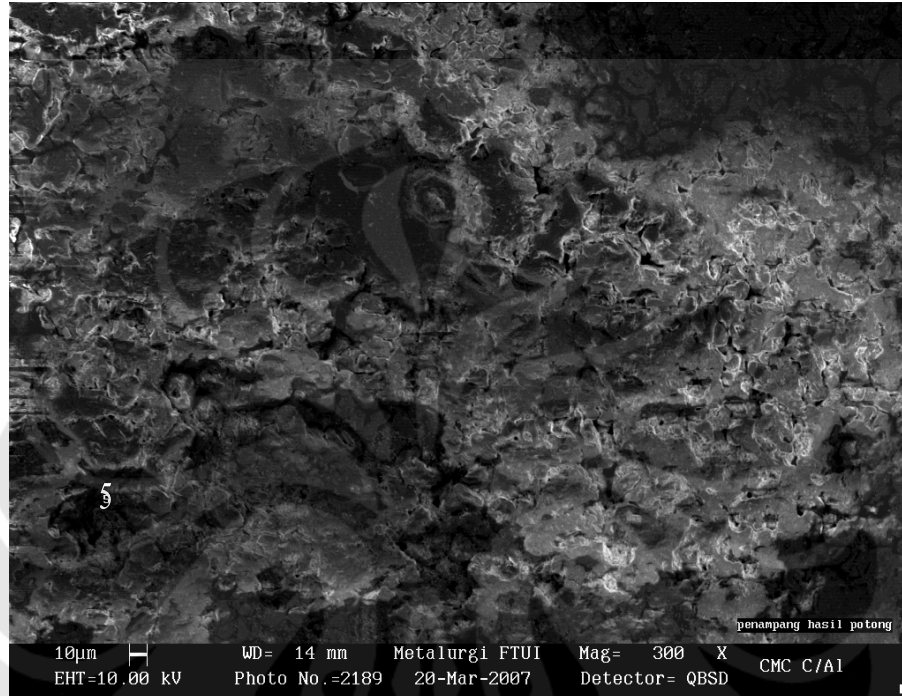
2 peaks possibly omitted: -0.02, 0.92 keV

Standards :

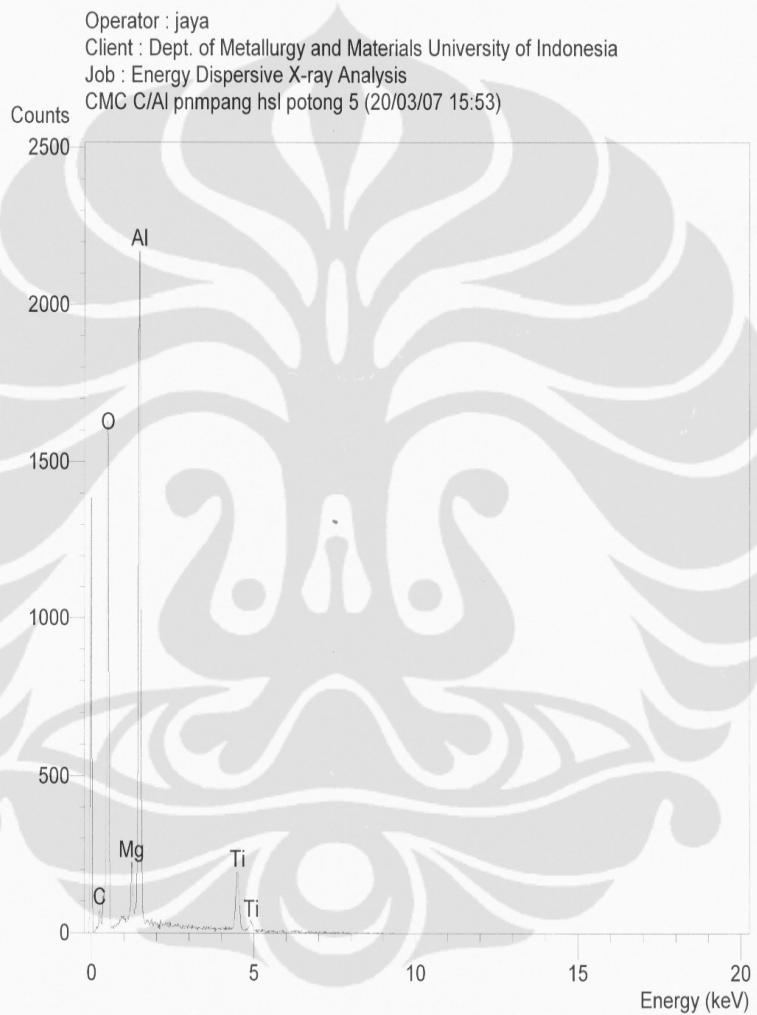
C K Carbon Low 13/09/06  
O K AL2O3 22/03/06  
Al K CeAl2 03/03/07  
Si K Low Carbon Steel 13/09/06

Elmt	Spect.	Element	Atomic
	Type	%	%
C K	ED	0.54	0.97
O K	ED	37.50	50.46
Al K	ED	34.17	27.27
Si K	ED	27.79	21.31
Total		100.00	100.00

\* = <2 Sigma



**Gambar 6** : 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 6. Hasil pengujian EDS produk CMC waktu tahan 24 jam pada titik 5, menunjukkan fasa yang terbentuk mengandung unsur C, O, Al, Mg, Ti mengindikasikan bahwa terdapat fasa  $Al_2O_3$ ,  $Al_4C_3$ ,  $MgAl_2O_4$ ,  $TiAl_3$



SEMQuant results. Listed at 15:55:19 on 20/03/07  
Operator: jaya  
Client: Dept. of Metallurgy and Materials University of Indonesia  
Job: Energy Dispersive X-ray Analysis  
Spectrum label: CMC C/Al pmpang hsl potong 5

System resolution = 60 eV

Quantitative method: ZAF ( 4 iterations).  
Analysed all elements and normalised results.

1 peak possibly omitted: -0.02 keV

Standards :

C K Carbon Low 13/09/06  
O K AL2O3 22/03/06  
Mg K MagOxide 22/03/06  
Al K CeAl2 03/03/07  
Ti K Titanium Oxide 19/05/06

Elmt	Spect. Type	Element %	Atomic %
C K	ED	0.35	0.63
O K	ED	47.67	64.07
Mg K	ED	1.86	1.64
Al K	ED	32.08	25.56
Ti K	ED	18.04	8.10
Total		100.00	100.00

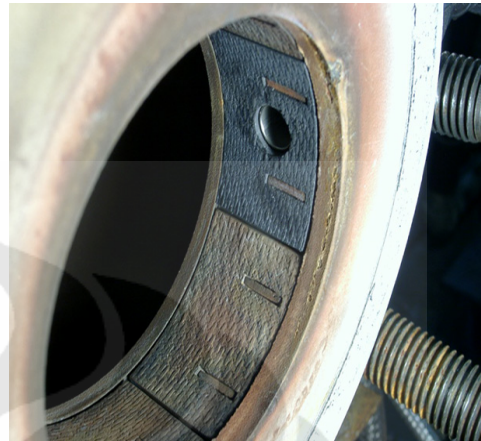
\* = <2 Sigma



**LAMPIRAN 8**  
**APLIKASI CMCs C/AI**



**Gambar 1.** Combustor Liner Pada Mesin Pesawat



**Gambar 2.** Saluran Pembakaran pada Turbin



**Gambar 3.** Lapisan permukaan Pesawat Ulang-Alik



**Gambar 4.** Saluran Nozzle Pesawat