

## **BAB II**

### **TINJUAN PUSTAKA**

#### **2.1 KOMPOSIT**

Komposit merupakan salah satu jenis material baru yang terus-menerus dikembangkan. sebagai material baru, komposit diharapkan dapat menjadi solusi untuk mengatasi berbagai keterbatasan material yang ada.

Komposit merupakan material yang dihasilkan dari penggabungan beberapa jenis material atau fasa. Melalui proses penggabungan ini diharapkan dapat diperoleh material baru dengan sifat-sifat yang lebih baik dibandingkan dengan material penyusunnya.

Material penyusun komposit terdiri dari dua bagian, yaitu matriks dan penguat ( reinforcement). Masing-masing memiliki fungsi tersendiri dalam komposit, sifat matriks dan penguat akan menentukan sifat akhir dari komposit. Penguat yang digunakan umumnya memiliki kekuatan yang lebih tinggi dari matriks. Penguat dalam komposit dapat berbentuk fiber maupun partikulat. Penguat dalam hal ini berfungsi sebagai penanggung beban utama pada komposit. Sedangkan matriks berfungsi sebagai pengikat penguat menjadi satu kesatuan, mentransfer beban dari penguat ke penguat lainnya, dan melindungi penguat dari pengaruh lingkungannya.<sup>[12]</sup>

#### **2.2 MATERIAL PENYUSUN KOMPOSIT**

Material penyusun komposit terdiri atas dua bagian, yaitu matriks dan penguat (*reinforcement*) *filler*. Matriks yang digunakan adalah serbuk grafit (C)

dan sebagai fillernya adalah Al ADC12 dan dopant yang digunakan adalah MgO. Dalam penelitian ini, aluminium jenis ADC 12 digunakan sebagai *fillernya* dan serbuk grafit digunakan sebagai matriksnya. Data- data komposisi kimia, sifat – sifat fisis dan mekanis dari masing – masing material penyusunnya akan dijelaskan dibawah ini :

### 2.2.1 Aluminium

Aluminium alloy merupakan logam yang memiliki sifat mekanis yang hampir sama dengan baja dan berat jenis yang lebih ringan dibanding baja. . Dalam penelitian ini, digunakan paduan logam aluminium ADC 12. Berikut ini sifat - sifat fisik, mekanis dan komposisi kimianya :<sup>[1]</sup>

**Tabel 2.1 : Sifat Fisik Logam Al – ADC 12<sup>[13,14]</sup>**

Sifat Fisik Logam Al - ADC 12	
Densitas (gr / cm <sup>3</sup> )	2,74
Berat Atom (gr / mol)	26,98
Warna	Putih Keperakan
Struktur Kristal	FCC
Titik Lebur (°C)	580

**Tabel 2.2 : Sifat Mekanis Logam Al – ADC 12<sup>[13,14]</sup>**

Sifat Mekanis Logam Al - ADC 12	
Kekuatan Tarik (MPa)	310
Kekuatan Luluh (MPa)	150
Poison Ratio	0,33
Kekerasan (HB)	75

**Tabel 2.3 : Komposisi Kimia Paduan Al (% berat)<sup>[15]</sup>**

Komposisi Kimia (% wt)									
Al	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Zn	Ti	Ni	Sn
Sisa	1,5 - 3,0	0,3 maks	0,30 maks	9,6 - 11	0,7- 0,9	1,0 maks	0,25 maks	0,3 maks	0,30 maks

### 2.2.2 Carbon (Grafit)

Carbon (grafit) memiliki sifat sebagai berikut : berdensitas rendah, temperatur leburnya tinggi, memiliki konduktivitas listrik yang baik, serta merupakan pelumasan terbaik.<sup>[2]</sup> Berikut ini adalah sifat – sifat dari serbuk grafit tersebut:

**Tabel 2.4 : Sifat Fisik Grafit** <sup>[2]</sup>

Sifat Fisik Grafit	
Densitas (gr / cm <sup>3</sup> )	2,267
Warna	Hitam keabu - abuan
Struktur Kristal	Hexagonal
Titik Lebur (°C)	4027 - 4427
Titik Didih (°C)	3727
Kapasitas Panas (J.mol <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	8,517 (25 °C)

**Tabel 2.5 : Sifat Mekanis Grafit** <sup>[2]</sup>

Sifat Mekanis Grafit	
Konduktivitas Termal (W.m <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )	119 – 165 (300 °K)
Kekerasan (Mohs Scale)	1 - 2

### 2.2.3 Magnesium

Magnesium merupakan logam sangat reaktif. Magnesium memiliki fungsi yang sangat penting dalam proses pembuatan CMCs C/Al melalui proses DIMOX. Sebagai *dopant*, magnesium mampu memperbaiki kemampuan basah Al dengan membentuk *spinel* pada interfase C dengan leburan Al. Magnesium memberikan sifat ikatan yang kuat antara Al dengan C dan menurunkan tegangan permukaan sistem.<sup>[11]</sup> Dalam penelitian ini, magnesium yang digunakan merupakan magnesium yang sudah teroksidasi, yaitu dalam bentuk persenyawaan MgO. Sehingga tidak begitu reaktif jika dibandingkan dengan magnesium murni. Berikut ini akan ditampilkan sifat – sifat dari Mg:

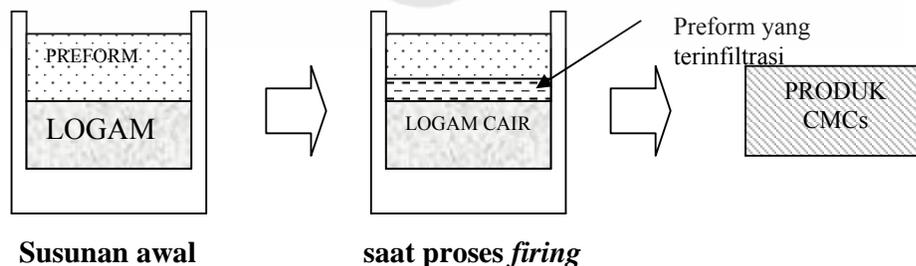
**Tabel 2.6 : Sifat Fisik dan Mekanis Magnesium<sup>[16]</sup>**

Sifat	Magnesium
Densitas (gr/cm <sup>3</sup> )	1,74
Titik lebur (°C)	650
Titik Didih (°C)	1097
Warna bentuk serbuk	Putih keabuan
Warna non-serbuk	Putih Perak
Modulus Elastisitas (GPa)	40
Kekuatan Luluh (Mpa)	255
Kekerasan (VHN)	12

### 2.3 PROSES PEMBUATAN CMCs

Proses *Directed Metal Oxidation* (DIMOX™) merupakan sebuah metode untuk membentuk CMCs dengan cara mengarahkan leburan logam dalam lingkungan kaya gas oksidan sehingga leburan logam akan menginfiltrasi prabentuk menghasilkan paduan keramik dengan sedikit sisa logam . Proses ini dikembangkan oleh Lanxide Corporation, USA.

Matriks Keramik yang terbentuk dari proses DIMOX™ merupakan hasil reaksi antara logam cair dan gas. CMCs terbentuk melalui infiltrasi logam cair ke prabentuk yang diletakkan diatas permukaan logam karena adanya gaya kapiler. **Gambar 2.1** menunjukkan proses DIMOX™.



**Gambar 2.1** Skematis proses DIMOX™.

Langkah pertama dalam proses DIMOX™ melibatkan pembuatan preform dari material filler. Preform terdiri dari partikel yang difabrikasi dengan cara pembentukan keramik tradisional, selanjutnya, preform diletakkan diatas paduan logam induk. Sebuah barrier penghalang pertumbuhan gas permeabel diberikan pada permukaan dari rakitan ini untuk membatasi bentuk dan ukurannya.

Rakitan ini, didukung dalam sebuah wadah refraktori yang sesuai, yang kemudian dipanaskan dalam sebuah tungku. Untuk sistem Aluminium, rentang tipikal temperatur yaitu dari 1650 °F - 2100°F (900°C - 1200°C). Logam induk bereaksi dengan gas pada atmosfer sekitar untuk menumbuhkan reaksi produk keramik melalui dan diseputar filler untuk membentuk CMCs.

Gerak kapiler dalam matriks keramik yang tumbuh berlanjut untuk memberikan *molten* paduan menuju pertumbuhan diatas. Disana, reaksi berlanjut sampai matriks yang tumbuh mencapai barrier. Pada titik ini, pertumbuhan berhenti, dan bagian tersebut didinginkan pada temperatur sekitar.

Proses keramik tradisional menggunakan sintering atau hot pressing untuk membuat sebuah CMCs padat dari serbuk keramik dan filler. Bentuk dan ukuran bagian tersebut dibatasi oleh ukuran alat dan *shrinkage* (penyusutan) yang terjadi selama pepadatan dari serbuk dapat membuat proses sintering tidak mungkin. Keuntungan dari proses DIMOX™ diantaranya; tidak terjadi *shrinkage*, karena pembentukan matriks terjadi karena proses pertumbuhan; sebagai sebuah hasil, dengan DIMOX™ proses fabrikasi dapat menjadi mudah terkontrol dan dapat memvariasikan matriks, penguat dan struktur mikro.

Kelebihan lain DIMOX™ yaitu fleksibilitas untuk merekayasa sifat yang diinginkan dalam rentang aplikasi yang luas, dapat memproduksi komposit dengan sistem yang bervariasi. Sebagai tambahan, proses pertumbuhan membentuk matriks batas butir bebas dari pengotor. Metode tradisional seringkali menyertakan aditif ini, dimana mengurangi sifat ketahanan pada temperatur tinggi. Dan dari perbandingan biaya menunjukkan bahwa proses ini menjanjikan untuk menggantikan metode tradisional.

## 2.4 FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PROSES PEMBENTUKAN CMCs

Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas produk CMCs antara lain : *interface* antara matriks dan penguat, *interdiffusion bonding*, kemampuan pembasahan, dan *wetting agents*.

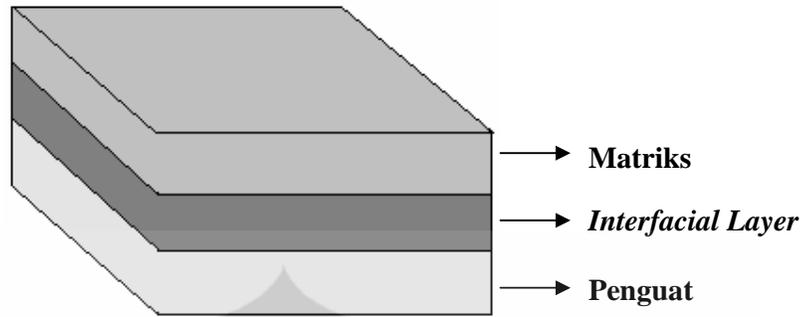
### 2.4.1 *Interface* antara Matriks dan Penguat

Bidang pisah (*interface*) merupakan daerah planar dengan ketebalan hanya beberapa atom dan pada daerah ini terjadi perubahan sifat dari matriks ke penguat.<sup>[3]</sup> *Interface* biasanya memiliki ketidakkontinuan kimia alami, struktur kristal dan molekular, sifat mekanik dan sifat lainnya.

Salah satu fungsi matriks adalah untuk mentransfer beban yang diterima komposit ke penguat. Proses transfer beban pada komposit ini sangat dipengaruhi oleh *interface* ( antar muka) matriks dan penguat. *Fracture behaviour* komposit juga tergantung pada kekuatan *interface*. *Interface* merupakan daerah planar dengan ketebalan hanya beberapa atom dan pada daerah ini terjadi perubahan sifat dari matriks ke penguat.

### 2.4.2 *Interdiffusion Bonding*

*Interdiffusion bonding* merupakan suatu ikatan kimia dan fisika yang terjadi pada *interface* dari hasil difusi atom-atom atau senyawa suatu matriks dan permukaan penguat yang saling bersentuhan. Pada sistem yang melibatkan keramik dan logam, difusi antara kedua komponen ini dapat menghasilkan lapisan antarmuka (*interfacial layer*) yang memiliki struktur dan komposisi berbeda dengan kedua komponen tersebut, seperti terlihat pada gambar. *Interfacial layer* ini juga memiliki sifat mekanis yang berbeda dengan matriks dan *reinforcement* sehingga akan mempengaruhi karakteristik *interface*.



**Gambar 2.2** *Interdiffusion Bonding*

Proses difusi antara keramik dan logam dalam proses pembentukan CMCs, dipengaruhi oleh temperatur tinggi. Hal ini dinyatakan dalam persamaan Arrhenius sebagai berikut:  $D_d = D_0 \exp (- Q_d / RT)$  .....(2.1)

- Dimana:
- $Q_d$  = energi aktivasi untuk difusi (J/mol)
  - $D_0$  = konstanta difusi (  $m^2/s$  )
  - $R$  = konstanta gas (8,314 J/mol K)
  - $T$  = temperature (K)

Persamaan di atas menunjukkan bahwa temperatur berperan besar terhadap koefisien difusi..<sup>[1]</sup> Ketebalan lapisan hasil difusi ini dipengaruhi oleh waktu dan temperatur, seperti diperlihatkan dalam persamaan di bawah ini :

$$x = ( D_d.t )^{1/2} \text{ ..... (2.2)}$$

- Keterangan :
- $x$  = Ketebalan lapisan difusi (m)
  - $D_d$  = Koefisien difusi ( $m^2 / s$ )
  - $t$  = waktu (s)

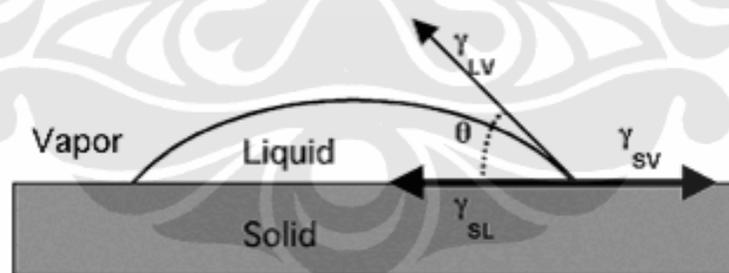
*Interface* dapat berubah selama proses. *Interfacial layer* terbentuk selama pemrosesan pada suhu tinggi. *Interfacial layer* yang akan terbentuk dapat terus berkembang dan bahkan tidak menutup kemungkinan terbentuknya *interface* dengan *multilayer* yang kompleks.

### 2.4.3 Wettability (Kemampua Pembasahan)

Ikatan *interface* (antarmuka) dipengaruhi oleh gaya *adhesi* antara matriks dan penguat. Terbentuknya ikatan yang kuat ini melibatkan proses pembasahan (*wetting*) dan pembentukan *interface* antara matriks dan penguat. Reaksi antara penguat dengan matriks akan menghasilkan *interphase* (fasa antara) pada *interface*.

*Wettability* adalah kemampuan dari cairan matriks untuk tersebar merata kepermukaan suatu padatan. Jika cairan memiliki *wettability* yang baik maka cairan tersebut dapat menutupi seluruh lubang dan kontur pada permukaan yang kasar pada penguat dan menghilangkan semua udara.

Kemampuan pembasahan dan reaktivitas akan menentukan kualitas ikatan antara dua material dan karena itu memberikan pengaruh terhadap sifat final komposit. Beberapa metode digunakan untuk meningkatkan kompatibilitas antara dua material, contohnya dengan menambahkan elemen paduan<sup>[3]</sup> atau *wetting agents* dalam leburan dan melapisi penguat keramik.<sup>[4]</sup> Kemampuan pembasahan ini diukur dari sudut kontak antara logam dan keramik seperti yang tampak pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2.3** Energi permukaan pada cairan di permukaan padat<sup>[10]</sup>

Pada permukaan benda padat, saat setetes cairan jatuh maka akan terjadi kesetimbangan energi permukaan ( $\gamma$ ) pada kontak antara keduanya. Energi permukaan yang terlibat (**Gambar 2.3**) antara lain energi permukaan padat-cair ( $\gamma_{sl}$ ), padat – gas ( $\gamma_{sv}$ ) dan cair-gas ( $\gamma_{lv}$ ). Agar terjadi pembasahan maka harus ada pengurangan energi permukaan.<sup>[5]</sup> Jika  $\gamma_{sl}$  besar maka cairan membentuk tetesan

dengan luas permukaan kecil sedangkan jika  $\gamma_{sv}$  besar tetesan akan tersebar merata pada permukaan.<sup>[1]</sup>

Kesetimbangan energi pada sistem disajikan dalam persamaan Young <sup>[6]</sup>, yaitu :

$$\gamma_{sl} - \gamma_{sv} + \gamma_{lv} \cos \theta = 0 \dots\dots\dots(2.3)$$

Dengan menyusun kembali persamaan (2.3) maka diperoleh,

$$\cos \theta = \frac{\gamma_{sv} - \gamma_{sl}}{\gamma_{lv}} \dots\dots\dots(2.4)$$

Sudut  $\theta$  dijadikan indikator tingkat pembasahan. Nilai  $\theta$  berada diantara  $0 - 180^0$  dengan ketentuan jika  $\theta = 90^0$  maka tidak terjadi pembasahan sempurna (**Gambar 2.4**). Parameter lain yang digunakan untuk mengukur *wettability* adalah koefisien penyebaran (*spreading coefficient/SC*). Pembasahan terjadi jika nilai SC adalah positif. SC dirumuskan sebagai berikut :

$$SC = \gamma_{sv} - (\gamma_{sl} + \gamma_{lv}) \dots\dots\dots(2.5)$$

*complete wetting*                      *incomplete wetting*                      *no wetting*



$\varphi = 0^\circ$     $\varphi < 90^\circ$     $\varphi = 90^\circ$     $\varphi > 90^\circ$     $\varphi = 180^\circ$

$\gamma_s - \gamma_{sl} > 0$                        $\gamma_s - \gamma_{sl} = 0$                        $\gamma_s - \gamma_{sl} < 0$

**Gambar 2.4** Kemampuan pembasahan berdasarkan besarnya sudut kontak ( $\varphi$ )

#### 2.4.4 Wetting Agents ( Dopants)

Dopants dapat mempengaruhi tegangan permukaan sistem dan beberapa reaksi kimia saat pemrosesan CMCs. Penambahan dopants dapat menurunkan sudut kontak, mencegah pertumbuhan butir, dan mendispersikan fasa keramik dengan merata untuk membentuk matriks yang kontinu.<sup>[7]</sup> *Dopant* biasanya berupa logam yang reaktif, contohnya Mg dan Si. *Dopant* ditambahkan untuk membantu pembasahan dengan menggunakan mekanisme oksidasi.<sup>[11]</sup>

#### 2.4.5 Gaya Kapilaritas

Perbedaan tekanan,  $\Delta P$ , sepanjang *interface liquid/vapor* dihubungkan dengan tegangan permukaan dapat dijelaskan dengan persamaan :

$$\Delta P = \gamma_{lv} \left\{ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right\} \dots \dots \dots (2.6)$$

dimana  $R_1$  dan  $R_2$  adalah radius kurva interface, seperti ditunjukkan pada gambar 2.5. Ketinggian kesetimbangan,  $\Delta h$ , dapat ditentukan dengan menghubungkan tekanan hidrostatik fluida,  $\Delta P = \rho g \Delta h$ , terhadap tekanan sepanjang interface. Hasilnya :

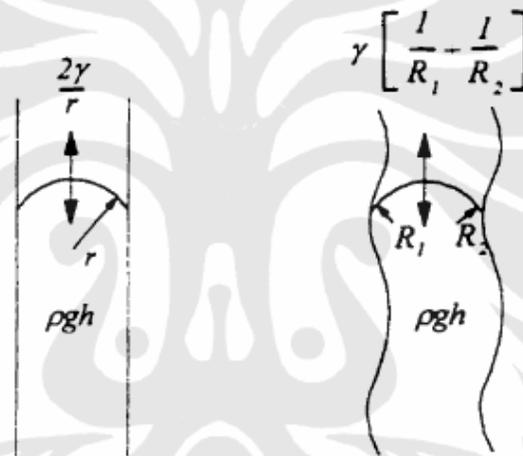
$$\Delta h = \frac{2\gamma_{lv}}{r \rho g} \dots \dots \dots (2.7)$$

Bubuk grafit memiliki radius yang tidak sama. Sebuah metode telah dikembangkan untuk menghitung rata-rata atau karakteristik radius yang berporus dengan menghitung sifat dari bubuk, yaitu :

$$r \propto \frac{(1 - \phi)}{S \rho \phi} \dots \dots \dots (2.8)$$

dimana  $\rho$  adalah density,  $S$  adalah surface area per gram bubuk, dan  $\phi$  adalah fraksi volume solid.

Dalam sistem kapilaritas, pengaruh meniskus penting. Dari persamaan (2.7), semakin kecil radius kapilar, semakin tinggi kolom fluida atau fluida akan naik lebih tinggi dalam radius yang lebih kecil. Kapilaritas yang tidak teratur memiliki radius yang kecil. Sudut yang kecil yang dibentuk oleh partikel menghasilkan ujung meniskus yang lebih tinggi dibanding dengan dasar meniskus. Hal ini disebut dengan “efek meniskus” dan menyebabkan pertambahan tekanan karena kenaikan kurvature interface. Semakin tinggi perbedaan tekanan, semakin besar gaya pendorong untuk kapilaritas yang menghasilkan daerah yang lebih kecil akan diisi terlebih dahulu.



**Gambar 2.5.** Tekanan kapilaritas sepanjang interface.

## 2.5 MEKANISME PEMBENTUKAN REAKSI PRODUK PADA PROSES INFILTRASI

Pada temperatur tinggi, serbuk Mg yang reaktif akan bereaksi dan teroksidasi terlebih dahulu dibandingkan Al. Mg akan teroksidasi menjadi MgO. Tetapi karena *dopant* yang digunakan adalah serbuk Mg dalam bentuk persenyawaan MgO, maka MgO ini akan langsung bekerja terhadap Al. MgO ini akan memperbaiki pembasahan dengan merusak lapisan protektif ( $Al_2O_3$ ) pada permukaan Al sehingga dapat terjadi reaksi permukaan. 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. Reaksinya sebagai berikut:



Pada tahap awal oksidasi paduan Al - Mg, jumlah MgO yang terbentuk akan meningkat lalu turun seiring dengan bertambahnya waktu. Penurunan jumlah MgO akan menyebabkan penambahan jumlah spinel. Spinel yang terbentuk akan bereaksi dengan leburan Al dan menghasilkan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan Mg akan bereaksi membentuk MgO. Berikut ini reaksinya :



Reaksi dalam fasa gas antara Mg dan oksigen dapat menyebabkan deposisi MgO pada permukaan grafit. Reaksinya sebagai berikut:



Selanjutnya MgO hasil reaksi di atas akan bereaksi lagi dengan leburan Al membentuk spinel. Berikut ini reaksinya:



Reaksi – reaksi kimia di atas dapat terus berlangsung di sekitar grafit dalam suatu siklus sampai semua leburan Al mengalami oksidasi..

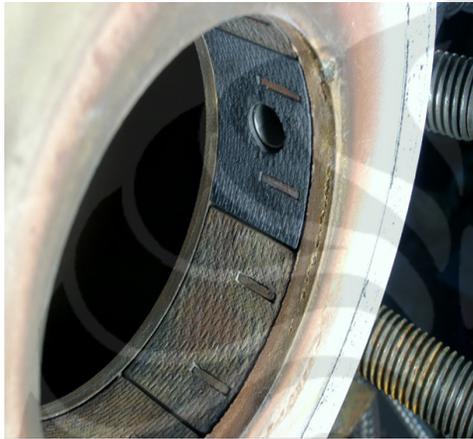
## 2.6 APLIKASI CMCs.

CMCs banyak digunakan pada aplikasi yang membutuhkan ketahanan kimia, ketahanan terhadap thermal shock, dan ketahanan terhadap temperatur tinggi seperti pada mesin-mesin turbin, komponen-komponen burner, dan heat exchanger. Contohnya :

1. Berat yang ringan, ketangguhan dan kekuatan fatigue yang tinggi pada temperatur tinggi memungkinkan produk CMCs digunakan pada aplikasi ruang angkasa, kemiliteran dan pembangkit listrik. Contohnya : *turbine blade* di pembangkit listrik tenaga uap.
2. Ketahanan korosi dan kemampuan untuk beroperasi dengan sedikit lubrikasi memungkinkan material komposit ini untuk digunakan sebagai *bearing* pada misil / rudal.

3. Aplikasi lainnya meliputi komponen tahan aus seperti *seals*, pipa, *pads*, rel kereta api, *grinding wheels*, rem, dan lain – lain. Sebagai contoh, komposit CFRC digunakan sebagai rem pada pesawat terbang.

Beberapa gambar aplikasi CMCs dimox :



**Gambar 2.6** Saluran Pembakaran pada Turbin



**Gambar 2.7** Lapisan permukaan Pesawat Ulang-Alik