

## PENGARUH PROSES KOMPAKSI KERAMIK ALUMINA DENGAN ZIRKONIA 15% UNTUK BAHAN NOSEL ROKET RX 2020

Oleh :  
Ediwan\*

### **Abstrak**

*Keramik sebagai salah satu material yang terus menerus dikembangkan dan disempurnakan sifat-sifatnya, merupakan bahan alternatif pengganti logam yang potensial. Alasan utama untuk mengembangkan keramik adalah karena kemampuannya untuk memberikan sifat yang bisa diaplikasikan pada temperatur tinggi, seperti untuk nosel roket, dengan membuat dinding nosel lebih tipis akan mengurangi berat roket secara signifikan. Karakteristik material keramik salah satunya dipengaruhi oleh proses sintering, proses kompaksi dan ukuran butir. Oleh karena itu penelitian ini menekankan pada pengaruh kompaksi yang dilakukan pada kapasitas 20 ton, 30 ton, 40 ton, 50 ton dan 60 ton dengan menggunakan mesin press berkapasitas 100 ton, untuk distribusi ukuran butir dan temperatur pembakaran yang sama, dengan bahan campuran zirkonia 15 % dan 85 % alumina. Hasil penelitian menunjukkan kuat tarik, kekerasan, kuat desak dan kekakuan meningkat sampai tekanan 60 ton.*

*Kata kunci : Nosel, keramik, temperatur*

### **Abstract**

*Ceramics, one of the material which is continuously researched and enhanced its properties nowadays, is considered a very potential alternative material to metals. Primery reason to develop ceramic materials is its capability to withstand extreme thermal loads such as rocket nozzle. By using ceramic material, the nozzle walls can be fabricated to be thin, in turn, it will reduce the overall nozzle weight it is well known that material charecteristics of ceramic depend on sintering temperatures in this research, the effects of pressure ranged from 20 ton up to 60 ton for a mixture of 15 % zirconia and 85 % alumina with the same distribution size and sintering will be studied. The results show that tensile strength, hardness, compressive strength and stiffness increase with reising compactness up to 60 ton.*

*Key words : Nozzle, ceramic, temperature*

## **1. PENDAHULUAN**

Untuk mendapatkan struktur nosel yang ringan dan mampu menahan temperatur tinggi dibutuhkan pengetahuan material non logam yang handal, karena material logam masih terlalu berat dan logam yang tahan temperatur tinggi susah didapat dipasaran, oleh karena itu kami mencoba melakukan penelitian awal terhadap keramik moderen dari campuran alumina dan zirkonia pada ukuran butir yang sama, temperatur sinter 1200 oC, dengan variasi tekanan yang diberikan berbeda-beda dari 10 sampai 50 ton pada mesin berkapasitas 100 ton.

Kramik dikategorikan sebagai material non logam yang bahan dasarnya dibuat dari campuran beberapa bahan baku mineral dan beberapa bahan tambahan lain yang dikenal sebagai keramik cina, porcelin, glass, semen, refractory, dulu bahan dasarnya diambil langsung dari alam seperti SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O dan sebagainya, sehingga kurang baik, pada keramik sekarang bahan dasar tersebut dikontrol sehingga didapat keramik halus untuk elektromagnetik, optic, termal, bio kimia serta untuk bahan elektronik. Bidang penggunaan baru bagi keramik sebagai bahan struktur konstruksi telah dikembangkan dengan menggunakan bahan karbida silicon, alumina, zirkonia dan nitrida silicon sebagai bahan untuk komponen ruang angkasa, penerbangan dan mesin seperti sudu turbin dan silinder motor yang sangat efisien. Pada umumnya keramik mempunyai sifat unggul seperti keras, kuat, dan stabil pada temperature tinggi, tetapi keramik bersifat getas dan mudah patah atau pecah, sehingga

---

\*Peneliti Pusat Teknologi Roket - LAPAN

sebelum digunakan untuk nosel perlu diketahui terlebih dahulu sifat mekaniknya, seperti kekerasan dan kekuatannya..

Selama ini nosel yang dibuat LAPAN menggunakan baja karbon dengan graphit sebagai isolator panas, masalah utama yang kami hadapi adalah berat dari baja, serta kekerasan dari graphit yang tidak sesuai dengan kebutuhan yaitu syarat yang diinginkan untuk bahan nosel adalah material harus ringan dan sifat mekaniknya harus terpenuhi, seperti kekuatan dan kekerasan. Keramik dipilih karena ketahanannya terhadap temperatur tinggi dan kekerasannya, sedangkan untuk kekuatan akan dilihat dari hasil pengujian sifat mekaniknya serta mengatur ketebalannya atau dibuat sangat tipis dilapisi dengan penguat serat karbon.

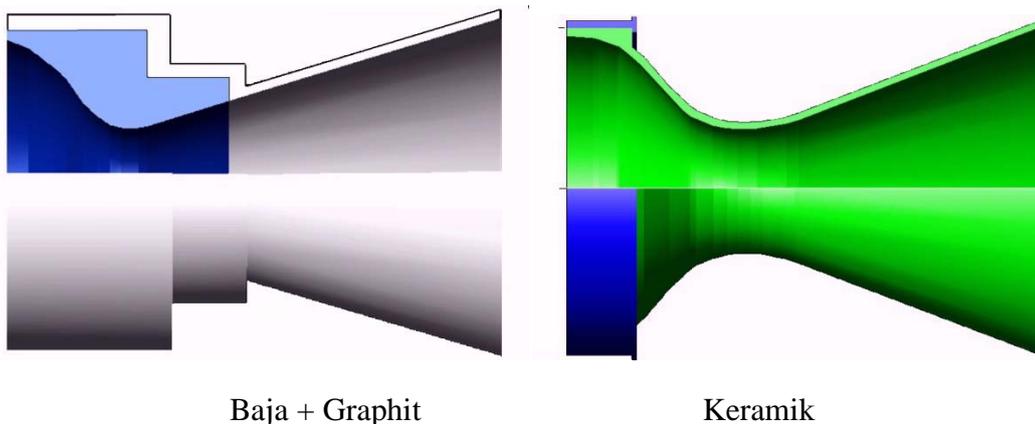
Pengaruh penting lain pada pembuatan keramik adalah waktu tahanan, prosentase campuran dan volume fraksi penguat. Oleh karena itu penelitian awal ini menekankan pada pengaruh kompaksi untuk prosentase campuran yang tetap, Oleh karena itu secara garis besar tujuan penelitian ini hanya mempelajari pengaruh kompaksi pada keramik yang akan digunakan pada nosel roket yang ditinjau dari aspek sifat fisik dan mekanik keramik seperti kekerasan, kekuatan dan kekakuan.

Setelah sifat-sifat dasar yang diinginkan terpenuhi seperti kekuatan dan kekerasan, selanjutnya data hasil pengujian keramik ini akan dibuat sebuah nosel.

## **2. NOSEL KERAMIK.**

Selain bahan bakar, nosel pada sebuah roket merupakan sebuah komponen utama, dengan merancang nosel yang tepat dan handal, tujuan yang diinginkan dalam pengembangan sebuah roket akan tercapai dengan sempurna. Selama ini nosel yang dibuat LAPAN dari bahan baja yang dilapisi bahan grafit sebagai isolator panas, untuk nosel ini baja dibuat lebih tebal, karena baja tidak tahan panas, sedangkan grafit terlalu lunak, sehingga mudah terjadi keausan akibat kecepatan aliran gas hasil pembakaran, terlihat dengan membesarnya dimensi throat atau kerongkongan nosel setelah uji statik.

Untuk mengantisipasi hal ini sudah dilakukan berbagai cara, seperti di lapisi boron atau bahan isolasi lainnya dengan berbagai cara pelapisan, sehingga dipilih keramik sebagai salah satu alternatif untuk bahan nosel berikutnya. Digunakan keramik karena sifat termalnya yang unggul, seperti sifat tahan panas, ketahanan terhadap kejutan termal, sedangkan sifat mekanik lainnya akan dicoba diuji, seperti porositas, kekuatan, kekerasan, kekakuan dan modulus elastisitas. Adapun bentuk nosel dari bahan baja dengan pelindung grafit serta rencana nosel dari keramik yang akan dibuat, setelah sifat-sifat yang diinginkan terpenuhi.



Gambar 2.1 Perbandingan Bentuk Nosel Baja dan Nosel Keramik

### 3. METODE PENELITIAN

Secara umum metode penelitian yang akan dilakukan pada keramik yang akan diteliti dengan cara membuat sampel berdasarkan komposisinya dengan bahan dasar sebagai berikut :

#### 3.1. Alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )

Alumina dikategorikan sebagai keramik moderen dan memiliki sifat-sifat dengan titik lebur tinggi ( $2015\text{ }^\circ\text{C}$ ), kekerasan tinggi (1175 HV), Densitas yang ringan ( $3,59\text{ gr/cm}^3$ ), koefisien termal ekspansi yang rendah ( $7.3\ 10^{-6}\text{ }/^\circ\text{C}$ ). Keramik alumina dapat digunakan untuk aplikasi yang berbeda seperti insulator, spark plugs, wear part dan sebagainya.

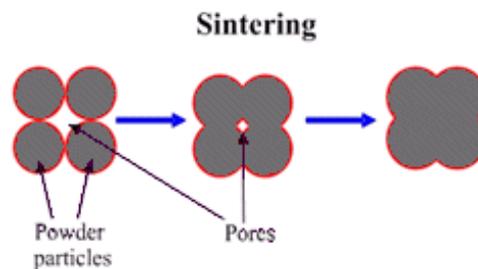
#### 3.2. Zirkonia

Zirkonia dikategorikan sebagai keramik moderen dan memiliki sifat-sifat dengan titik lebur lebih tinggi dari alumina yaitu ( $2700\text{ }^\circ\text{C}$ ), kekerasan tinggi (1300 HV), Densitas yang lebih tinggi dari alumina ( $5\text{ gr/cm}^3$ ), koefisien termal ekspansi yang lebih tinggi ( $10.3\ 10^{-6}\text{ }/^\circ\text{C}$ ). Keramik zirkonia dapat digunakan untuk aplikasi sudu turbo jet, spark plugs, wear part dan sebagainya

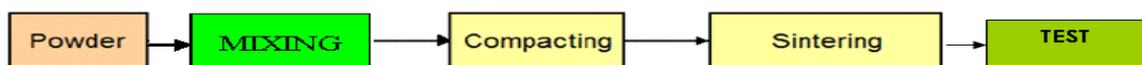
Alternatif pembuatan zirkonia, dimana pasir sirkon diproses dengan pirolisa (terurai menjadi sirkonia dan silika) dengan melewatkannya kedalam oven plasma. Sebagai hasilnya sirkonia mentah dipisahkan dari ketidak-murnian menjadi bentuk sodium sirkonat yang dapat larut dan klorida mudah terurai menjadi sirkonia murni .

#### 3.3 Pembuatan model uji Keramik

Proses pembuatan sampel yang dilakukan pada keramik adalah dari bahan berbentuk serbuk dilakukan proses *mixing* atau pencampuran, kemudian kompaksi atau pemadatan kedalam cetakan dan terakhir adalah sintering atau pembakaran, sehingga terjadi ikatan antar atom dan ikatan pada keramik adalah ikatan ion dan ikatan kovalen dimana agak sukar membedakan antara kedua ikatan ini pada keramik karena ciri khas antar atomnya tidak terlihat dengan jelas sehingga sering disebut ikatan campuran, seperti gambar 3.1 dibawah ini, dengan tahapan proses seperti gambar 3.2



Gambar 3.1. Tahapan Pada Proses Sintering



Gambar 3.2. Langkah Proses Penelitian

Kekerasan adalah ciri khas dari keramik, dimana kekerasan sebagai ukuran ketahanan bahan terhadap gesekan pada permukaan. Masalah kegetasan belum bias diatasi, keramik memiliki ketahanan termal dan kesetabilan kimia serta memungkinkan digunakan pada temperatur tinggi sebagai bahan teknik yang baru yang tidak dapat dilaksanakan oleh bahan logam. Pembuatan dilakukan dengan mencampur alumina dengan zirkonia sesuai komposisi campuran kemudian diaduk, dimasukkan dalam cetakan yang sesuai bentuk benda uji selanjutnya dilakukan kompaksi sesuai tekanan, benda uji dikeluarkan dari cetakan, untuk dilakukan proses sintering pada temperatur  $1200\text{ }^\circ\text{C}$ , hasil sintering ini diuji sifat fisik dan mekaniknya.

#### 4. PENGUJIAN DAN SIMULASI

Pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui kekuatan dan kekerasan bahan hasil proses sinter pada berbagai tekanan, mulai 10, 20, 30, 40 dan 50 ton. Pengujian kekerasan dilakukan dengan metode Vickers

Dilakukan pengukuran kekerasan menurut Vickers menggunakan sebuah intan yang berbentuk limas (piramid) sebagai indenter yang ditekan pada sampel yang akan diuji kekerasannya dengan menggunakan beban yang sesuai, metode vickers digunakan untuk sampel yang sangat keras Angka kekerasan Vickers diperoleh dari beban tekan yang diberikan krucut intan dibagi luas diagonal bekas penekanan dengan formula :

$$VHN = 1.854 \frac{F}{d^2} \text{ kg/mm}^2 \quad \dots\dots\dots 1)$$

Dimana : F = beban tekan yang diberikan (kgf)  
 d = diagonal hasil penekanan (diukur dengan mikroskop).

Untuk uji defleksi perlu ditambahkan tumpuan rol seperti gambar 4.1 dibawah sampel diletakkan alat seperti dial Indikator yang berfungsi mencatat defleksi yang terjadi pada tiap beban. Peralatan ini digunakan untuk mengetahui kekakuan bahan yang berhubungan dengan modulus elastisitas

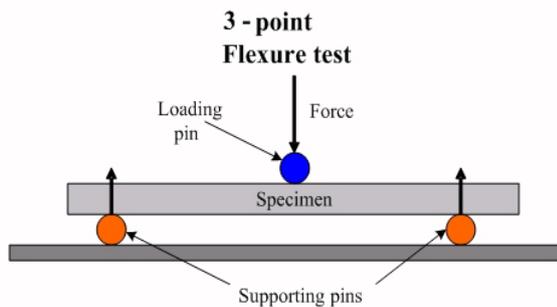
Secara teoritis formula untuk mencari Modulus Elastisitas adalah :

$$\delta = \frac{FL^3}{48.EI} \quad \dots\dots\dots 2)$$

Dimana : F = gaya yang diberikan  
 L = Panjang batang uji  
 E = Modulus Elastisitas

Pada pengujian Flexural Strength dapat di hitung dengan formula:

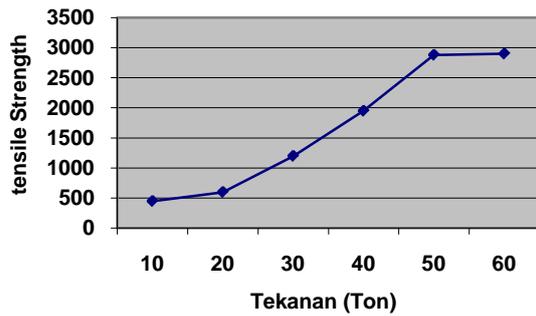
$$\sigma = \frac{3.L.F}{2.b.d^2} \text{ dengan 3-point pengujian dari specimen segi empat} \quad \dots\dots\dots 3)$$



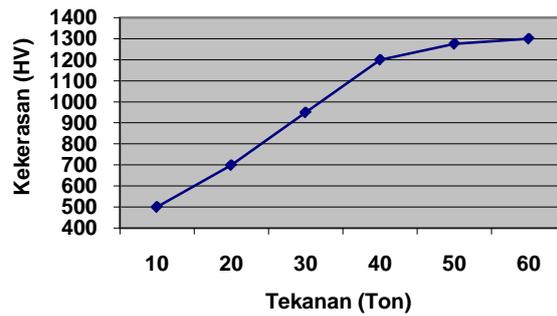
Gambar 4.1 Pengujian Flexural Strength dan Modulus Elastisitas

Dimana : b – specimen width;  
 d--specimen thickness

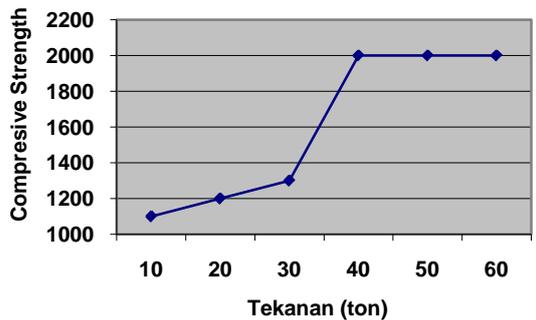
Dari pembahasan diatas tentang cara dan pengujian dilakukan, maka didapat hasil, dimana hasil yang dibuat dari hasil rata-rata pengujian, terhadap pengaruh tekanan.



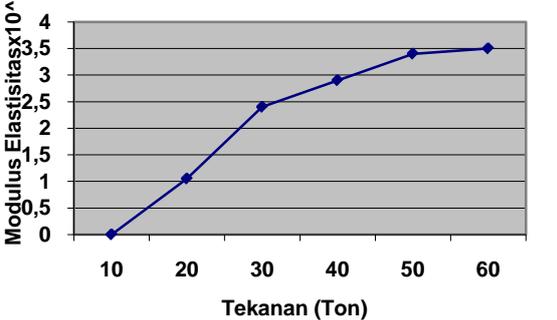
Gambar 4.2. Tensile Strength



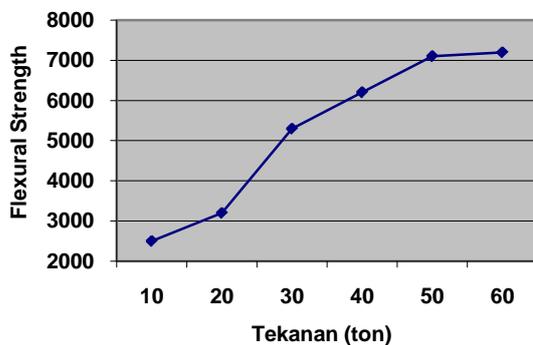
Gambar 4.3. Kekerasan



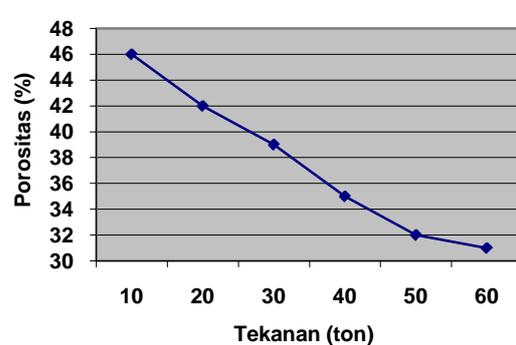
Gambar 4.4 Compressive Strength



Gambar 4.5 Modulus Elastisitas



Gambar 4.6 Flexural Strength

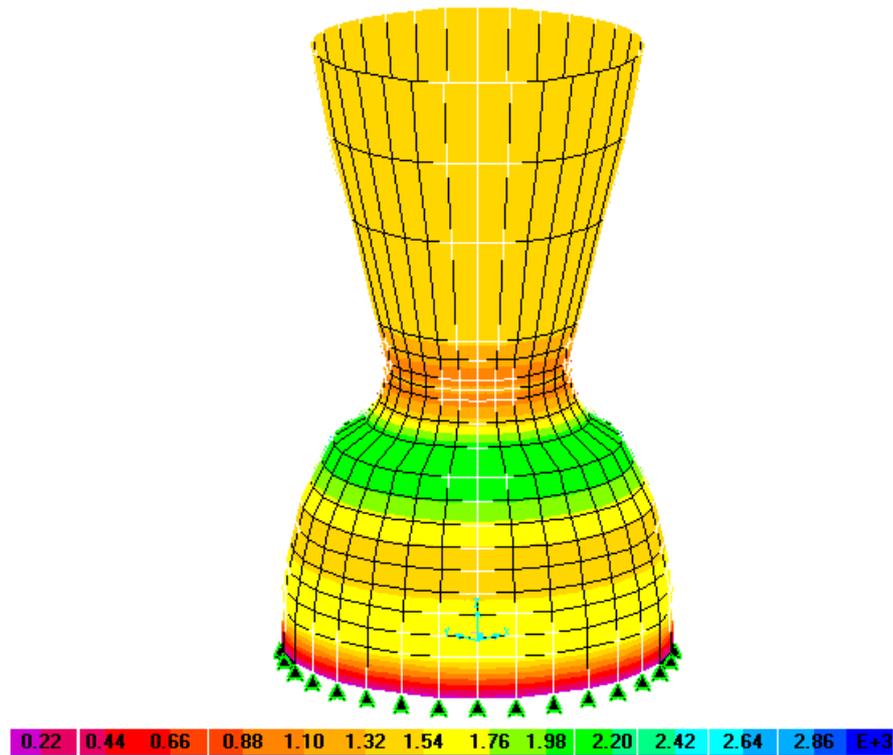


Gambar 4.7. Porositas

Dari pengujian diatas ternyata harga kekuatan keramik yang dibuat pada tekanan 60 ton adalah 2900 kgf/cm<sup>2</sup> masuk dalam batas bawah keramik, dari literatur dapat mencapai 6000 kgf/cm<sup>2</sup>, kekerasan pada tekanan 60 ton meningkat 1350 HV, compressive dan flexural strength meningkat pada tekanan 40 ton pada tekanan 10 ton meningkat porositasnya.

Makin besar tekanan yang diberikan maka akan menghasilkan porositas yang semakin kecil, serta sifat mekanik yang semakin besar.

Dari simulasi komputer didapat tegangan maksimum serta berat keramik dengan tebal 3 mm dan tekanan 50 kg/cm<sup>2</sup> sebagai berikut,



Gambar 4.8. Simulasi Tegangan  $2.88 \times 10^3 \text{ kg/cm}^2$

Tabel 1 Berat total nosel

TABLE: Area Section Properties						
Section	Material	AreaType	Type	Thickness	BendThick	TotalWt
Text	Text	Text	Text	cm	cm	Kgf
ASEC1	MAT	Shell	Shell-Thin	0.3	0.3	1.58

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pada campuran Alumina dan zirkonia yang dianalisa sifat mekaniknya, menunjukkan bahwa keramik campuran  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{ZrO}_2$  untuk digunakan pada nosel roket dapat ditarik kesimpulan :

- Kekuatan dan kekerasan meningkat dengan meningkatnya tekanan, untuk tekanan diatas  $60 \text{ kg/cm}^2$  hampir tidak terjadi peningkatan kekuatan
- Dengan meningkatnya tekanan, akan menurunkan porositas keramik.
- Hasil kekerasan cukup baik untuk digunakan pada nosel roket, kekerasan Baja  $250 \text{ HV} < 1250 \text{ HV}$  keramik
- Modulus elastisitas cukup baik dari baja  $E = 3 \times 10^6 > 2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ , tetapi keramik rapuh,
- Kekuatan masih rendah, bila akan dibuat lebih tipis lagi, agar ringan, diperlukan penguat dari luar menggunakan bahan serat karbon, atau penguat lainnya, kekuatan tarik Baja S45C  $5800 \text{ kg/cm}^2 > 2900 \text{ kg/cm}^2$  Keramik
- Tegangan maksimum nosel pada ketebalan 3 mm hasil simulasi computer, masih aman dari beban tekanan sebesar  $50 \text{ kg/cm}^2$  dengan factor keamanan 1.1
- Berat nosel 1.58 kg jauh lebih ringan dari nosel lama yaitu 4 kg
- Bahan keramik ini dapat digunakan untuk nosel roket

## B. Saran

Untuk mendapatkan karakteristik keramik yang optimal perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada temperatur dan tekanan berbeda dan dengan variasi campuran zirkonia yang berbeda pula.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Aghajanian M. K. , dkk, *Properties and Microstructures of Lanxide Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – Al Ceramic Composite Material* ; Jurnal of materials Science, USA, 1989.
2. A. Javier S. H, dkk, *Microstructural Design in Alumina-Alumina/Zirconia Layered Composites*, Scripta Materialia. Volume 38. , 1998.
3. Digiovani, PR., *Testing Technology of Ceramic Matrix Composite*, ASTM, PA.19013-USA.
4. Dhingra, AK. (ed), *Interfaces in Ceramic Matrix Composites*, Metallurgical Society-AIME/DA. Books,Australia, 1988.
5. Genesio, Margaret, *Composite Technology*, Southren Illinois University-Carbondale, 1988.
6. James, S. Reed, 1994, *Principles of Ceramics Processing*, New York, 1988.
7. Pickart, S. M, *The mechanical properties of ceramic composite produced by melt oxidation*. Acta. Metall. Mater., 1992.
8. R.D. Carnahan, J.A. Pask, *American Ceramic Society* , Volume 51 , 1968.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

### DATA UMUM

Nama Lengkap : Ediwan  
Tempat & Tgl. Lahir : Muaradua 6 Mei 1960  
Jenis Kelamin : Laki-laki  
Instansi Pekerjaan : Pustekroket LAPAN  
NIP. / NIM. : 1960050601199001001  
Pangkat / Gol. Ruang : Pembina Utama Muda / IVC  
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti Utama  
Agama : Islam  
Status Perkawinan : Menikah

### DATA PENDIDIKAN

SLTA : SMA 31 Jakarta Tahun : 1980  
STRATA 1 (S.1) : Teknik Mesin Tahun : 1988  
STRATA 2 (S.2) : Materials Science Tahun : 1996

### ALAMAT

Alamat Rumah : Perum Taman Jatisari Permai X/24 Jatiasih. Bekasi  
Telp. : 021-8456865. HP. 081388685540..  
Alamat Kantor / Instansi: Pusat Teknologi Roket LAPAN Serpong  
E-mail : [ediwan.ok20@yahoo.com](mailto:ediwan.ok20@yahoo.com).

## HASIL DISKUSI DALAM PELAKSANAAN SEMINAR

Pertanyaan :

1. Kramik rapuh, bagaimana cara memperkuatnya? (Bpk. Pirnadi, LAPAN)
2. Berapa temperatur pemanasan yang paling baik? (Bpk. Agus Budi Jatmiko, LAPAN)

Jawaban :

1. Karena kramik itu rapuh maka setelah jadi nosel akan diperkuat dengan fiber carbon pada bagian luarnya
2. Berdasarkan penelitian sebelumnya didapat bahwa temperatur yang baik antara 1200 - 1400 oC