

## Analisis Kekuatan Graphit Type H-451 Terhadap Uji Tekan Dan Bending

Oleh :  
Ediwan \*

### Abstrak

Setiap rancangan struktur pasti memperhitungkan beban yang akan diterima, beban tersebut bermacam-macam, seperti beban tarik, tekan, geser, bending, atau gesekan. Bila struktur menggunakan bahan yang sangat rapuh seperti graphit beban yang diperhitungkan hanya beban tekan dan bending saja, karena bahan yang rapuh tidak mempunyai kekuatan tarik, untuk beban temperatur selama struktur beroperasi dibawah temperatur kekuatan bahan, beban temperatur ini diabaikan. Bentuk struktur juga sangat menentukan seperti bentuk pelat sangat kritis terhadap tekanan dan bending, apalagi bentuknya terlalu tipis. Bahan rapuh bila menerima tahanan dan bending akan pecah dan patah, Untuk mengetahui kekuatan bahan graphit yang bersifat rapuh tersebut terhadap beban tekan dan bending, maka dilakukan uji tekan dan bending, pengujian ini dilakukan pada bahan graphit type H-451. Pengujian tekan dan bending untuk setiap bahan selalu berbeda, terutama antara logam dan non logam, kemudian antara bahan rapuh dan bahan ulet. Bahan ulet bila ditekan akan memendek dan diameter bertambah besar, sedang bahan rapuh bila ditekan akan retak kemudian pecah.

Besar gaya tekan maksimum yang menyebabkan pecah dibagi luas penampang adalah compressive strength, dari literatur kekuatan tekan bahan graphit antara 20 sampai 100 MPa, Cara pengujian bending dilakukan sama dengan pengujian bending umumnya, dari literatur harga flexural Strength 7 sampai 100 MPa

Kata Kunci : Struktur, Graphit, kekuatan

### Abstract

Each design structures that will certainly take into account the load received, load variety, such as the tensile load, press, shearing, bending, or friction. When the structure using a very brittle material such as graphite load calculated only compressive load and bending, because brittle material has no tensile strength, for load temperature during operation under temperature structural material strength, the load temperature is ignored. Shape of the structure is also crucial as the shape is very critical of the pressure plate and appeals, let alone shape too thin. Brittle materials when received and bending cracks and fractures, to know the power of graphite materials that are fragile and appeal to the compressive load, then press and bending test performed, the test was carried out on the material type H-451 graphite. Press and bending testing of each material is different, particularly between metals and non-metals, then the material brittle and ductile materials. Ductile materials when pressed will shorten and grow in diameter, is a brittle material when pressed will crack and then break.

Large maximum compressive force that causes rupture divided by cross-sectional area is compressive strength, compressive strength of the material graphite literature ranging from 20 to 100 MPa, bending tests performed the same way by bending testing generally, from the price literature Flexural Strength 7 to 100 MPa

Keyword : Structure, Graphit, strength

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu komponen penting pada motor roket adalah nosel. Komponen ini berfungsi untuk mengubah tenaga gas hasil pembakaran propelan di dalam ruang bakar yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi menjadi tenaga mekanik berupa gaya dorong sehingga dapat menggerakkan roket ke depan. Nosel dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu bagian konvergen, kerongkongan (*throat*) dan divergen dimana kecepatan aliran gas akan meningkat setelah melewati ketiga bagian tersebut. Selama motor roket beroperasi nosel ini akan mengalami beban tekan dan panas yang tinggi sehingga bagian struktur nosel tersebut perlu dilindungi agar tidak mengalami kerusakan.

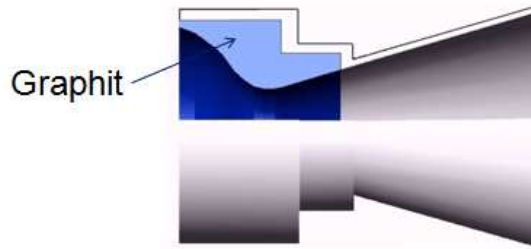
Bahan yang digunakan untuk menahan panas pada sisi masuk nosel ada yang menggunakan graphit, bahan ini tergolong bahan yang sangat rapuh dimana kekuatan tarik maksimumnya 150

---

\* Peneliti Pusat Teknologi Roket LAPAN

kg/cm<sup>2</sup> atau 15 Mpa (Fisher, 1981), namun bahan graphit termasuk bahan yang tahan temperatur cukup tinggi selain bahan keramik. Bahan keramik kekerasannya sangat tinggi, sedangkan graphit sangat lunak, sehingga keunggulan masing-masing diperlukan oleh berbagai pengguna yang membutuhkan kelebihan masing-masing. Posisi graphit pada nosel roket ditunjukkan pada Gambar 1.1.

Pada nosel dibutuhkan bahan yang mampu untuk digunakan pada temperatur tinggi, sehingga graphit dan keramik dapat dimanfaatkan untuk nosel. Untuk mengetahui kekuatan bahan graphit, maka akan dilakukan pengujian tekan (*compressive strength*) dan bending (*flexural Strength*), pengujian tekan menggunakan alat uji tekan dan alat uji bending dengan menggunakan alat uji dilaboratorium Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta. Tulisan ini akan membahas tentang hasil pengujian graphit terhadap pengaruh tekanan dan bending.



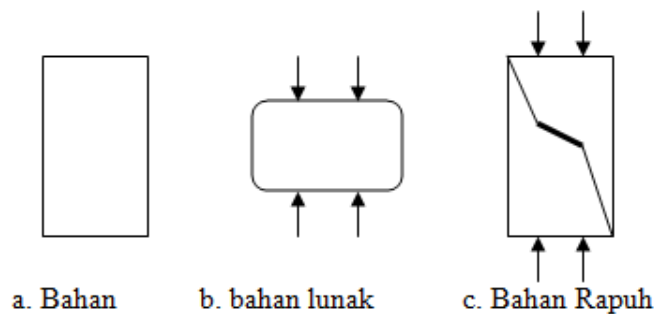
Gambar 1.1 Graphit Pada Nosel Roket

## 2. UJI TEKAN DAN BANDING

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat mekanis dari bahan graphit, terhadap beban tekan baik untuk uji tekan maupun uji bending. Bahan graphit yang ada dipasaran bermacam-macam jenis serta sifat mekanis yang berbeda-beda dan penggunaan yang berbeda pula, sehingga diperlukan pengujian, untuk menjamin sifat mekanik bahan sebagai standar untuk kekuatan struktur graphit

### 2.1 Uji Tekan (*compressive strength*)

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui sifat mekanis bahan graphit, dengan gaya tekan yang dibutuhkan untuk menghitung besarnya tegangan normal yang bekerja pada sampel uji. Pengujian dilakukan dengan cara menaikkan tekanan fluida didalam silinder hidrolik. Dengan mengamati perubahan perpindahan pada jarum dial indikator. Perpindahan dibagi dengan panjang mula-mula disebut dengan regangan, sehingga dapat dibuat diagram regangan dan tegangan seperti pada uji tarik. Contoh pengujian tekan pada bahan secara umum seperti gambar 2.1 dibawah ini (Dieter, 1988)



Gambar 2.1 Cara Pengujian Tekan

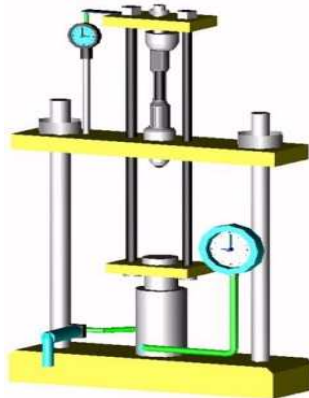
Hubungan tegangan-regangan dapat dinyatakan sebagai :

$$\sigma = \frac{F}{A} = E \cdot \varepsilon$$

di mana :

- $\sigma$  - tegangan elemen
- $\varepsilon$  - regangan elemen
- E - modulus elastisitas material

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$$



**Gambar 2.2** Pengujian Tekan

Dari pengujian ini dapat dicari harga modulus elastisitas bahan.

2.2 Pengujian Bending (Flexural Strength)

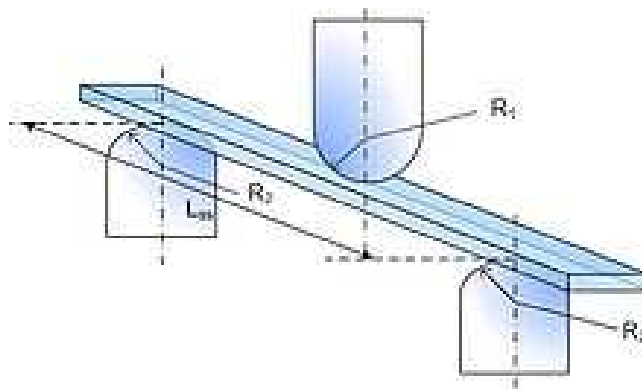
Untuk uji bending perlu ditambahkan tumpuan rol seperti gambar 2.2 dibawah sampel diletakkan dial Indikator yang berfungsi mencatat defleksi yang terjadi pada tiap beban. Peralatan ini digunakan untuk mengetahui kekakuan bahan yang berhubungan dengan modulus elastisitas Pada pengujian Flexural Strength dapat di hitung dengan formula: (D, Callister, 2007)

$$\sigma = \frac{3.L.F}{2.b.t^2} \text{ dengan specimen segi empat lebar } b \text{ dan tebal } t \quad \dots\dots\dots 3)$$

Secara teoritis formula untuk mencari Modulus Elastisitas adalah :

$$\delta = \frac{F.L^3}{48.E.I} \quad \dots\dots\dots 2)$$

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



**Gambar 2.3** Pengujian Flexural Strength dan Modulus Elastisitas



Gambar 2.4 Mesin Uji Bending

### 3. PENGUJIAN

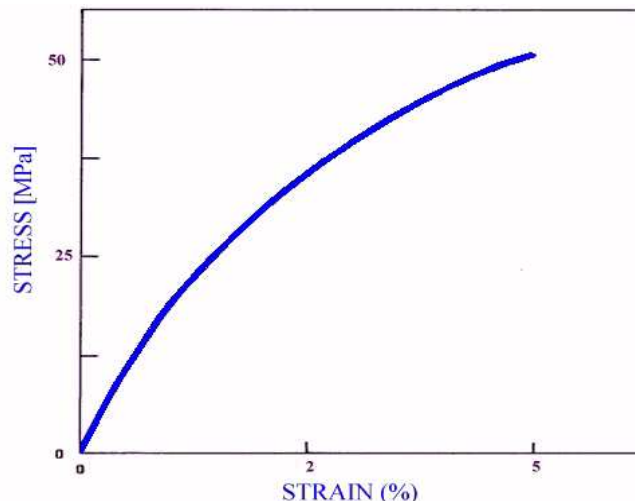
Sampel yang digunakan berbentuk bulat dengan diameter 3.2 cm, pengujian dilakukan menggunakan dua macam model uji, untuk pengujian tekan model dibuat lingkaran dengan diameter 10 mm dan panjang 100 mm, untuk pengujian bending model dibuat berbentuk pelat dengan lebar 30 mm, tebal 10 mm dan panjang 100 mm.

Pengujian ini masing-masing menggunakan 3 sampel dan hasil rata-rata seperti yang ditampilkan pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 dibawah ini.

Tabel 3.1 Hasil Pengujian tekan

	F kgf	$\Delta L$ (mm)	$\epsilon$	$\sigma_y$ kg/cm <sup>2</sup>
1	50	0.0064	$6 \times 10^{-4}$	64
2	125	0.016	$16 \times 10^{-4}$	159
3	250	0.0316	$32 \times 10^{-3}$	318
4	375	0.048	$47.7 \times 10^{-3}$	477
5	400	0.0516	$51.5 \times 10^{-3}$	509

Dari tabel diatas dibuatkan grafik compressive stress-strain untuk grafit type H-451 seperti gambar 3.1 dibawah ini



Gambar 3.1 Grafik Compressive Stress-Strain Graphit Type H-451

Dari pembahasan diatas tentang cara dan pengujian bending dilakukan, maka didapat hasil, dimana hasil yang dibuat dari hasil rata-rata pengujian, L=100 mm dan b=30, t=10 mm

**Tabel 3.2** Hasil Pengujian Bending

	F (kgf)	$\Delta L$ (mm)	E (kg/Cm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (kg/Cm <sup>2</sup> )
1	20	0.029	100000	150
2	20	0.030	100000	150
3	20	0.031	100000	150
4	20	0.031	100000	150
5	20	0.030	100000	150

#### 4. ANALISIS HASIL

Pengujian graphit dilakukan dengan menggunakan sampel yang dibeli dipasaran berbentuk bulat pejal dengan diameter 3.2 cm dan panjang 15 cm, sampel tersebut dibuatkan model ujinya sesuai bentuk pengujian serta menggunakan standar yang sudah ditentukan. Kemudian dilakukan pengujian tekan dengan 3 sampel uji dan pengujian bending dengan 3 sampel uji.

Pengujian ini perlu dilakukan untuk memastikan bahwa bahan graphit yang akan digunakan memenuhi standar kekuatan atau sifat mekanik yang diinginkan, sehingga bila terjadi kegagalan, bukan pemeliharaan bahan yang disalahkan namun kemungkinan lain, seperti adanya kesalahan proses pembuatan dan perakitan.

Dari hasil pengujian tekan dan bending yang dilakukan menunjukkan bahwa compressive stress-strain maksimum bahan graphit type H-451 rata-rata adalah 509 kg/cm<sup>2</sup> atau 50 MPa, hasil ini masih masuk dalam standar yang sudah ditentukan sebelumnya yaitu antara 20 – 100 Mpa (lampiran) , sedangkan pengujian bending atau flexural stress bahan graphit type H-451 menghasilkan harga flexural stress sebesar 150 kg/cm<sup>2</sup> atau 15 MPa, harga ini termasuk rendah namun masih termasuk dalam standar untuk bahan graphit yaitu antara 7 – 100 Mpa (lampiran). Berarti bahan graphit ini bila akan digunakan untuk nosel berdiameter 55 cm dan tekanan 60 Bar, butuh ketebalan minimum 3 cm bila menerima beban tekan. Bahan graphit standar yang harga compressive stress dan flexural stress tinggi adalah bahan graphit type nanographit.

#### 5. KESIMPULAN

Dari analisis diatas dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Harga compressive stress-strain graphit standar berada antara 20 hingga 100 MPa, untuk graphit yang diuji menghasilkan compressive stress-strain sebesar 50.9 MPa, sehingga bahan graphit type H-451 ini masih tergolong cukup baik
- Harga flexural stress graphit standar berada antara 7 hingga 100 MPa, untuk graphit yang diuji menghasilkan flexural stress sebesar 15 MPa, sehingga bahan graphit type H-451 ini Masih tergolong cukup baik, namun klasifikasi tergolong rendah untuk menahan beban bending
- Graphit yang baik biasanya graphit penemuan baru dengan struktur mikro yang lebih halus dan sering disebut berukuran nano atau nano graphit, namun harganya relatif masih mahal.
- Material graphit sangat tahan terhadap temperatur sampai 3500 °C, sehingga perhitungan kekuatan graphit hanya terhadap tekanan atau compressive stress-strain dan uji bending atau Flexural Strength saja, sedangkan uji tarik diabaikan karena kekuatan tarik bahan graphit sangat rendah (Fisher, 1988), maka struktur graphit harus di desain sedemikian rupa agar tidak menerima beban tarik, seperti yang selama ini dibuat LAPAN.
- Sehingga dapat disimpulkan secara umum bahwa bahan graphit type H-451 ini masih dapat digunakan untuk nosel roket, namun lebih baik mencari yang berkualitas lebih baik lagi.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Fisher. F “*Engineering Design* “ John Willey and Son, 1981
- Dieter G E, *Mechanical Metallurgy*, Third Edition, McGraw-Hill Co, Singapore 1988
- General Atomics, *Graphite Design Handbook*, San Diego, California 1988
- D, Callister, *Materials Science and Engineering*. John Wiley and Son, 2007
- Sutton, G.P, *Rocket Propulsion*, John Willey & Son Inc, New York 1976
- E.R Parker, *Material Missiles and SpaceCraft*, University Barkley California 1967

- Graphite (C) , *Classifications, Properties and Applications of Graphite*, CERAM Research Ltd 2005
- Y. C. PAO, *A First Course in Finite Element Analysis*. Allyn and Bacon, inc Boston USA 1986
- Samuel L.Hoya, “*ASME Hand Book Meterials Properties*” Mc Graw-Hill, New York
- Dieter G.E, *Engineering Design, A Material And Processing Approach*, McGraw-Hill 1983

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

### DATA UMUM

Nama Lengkap : Ediwan  
 Tempat & Tgl. Lahir : Muaradua, 6 Mei 1960  
 Jenis Kelamin : Laki-laki  
 Instansi Pekerjaan : LAPAN  
 NIP. / NIM. : 1960050601199001001  
 Pangkat / Gol. Ruang : Pembina Utama Muda / IV.c  
 Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti Madya  
 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) : Material Science Tahun: 1996

### ALAMAT

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

### LAMPIRAN

Tabel Sifat Bahan Graphit Komersil (General Atomics, 1988)

Property	Commercial graphite
Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.3-1.95
Porosity (%)	0.7-53
Modulus of Elasticity (GPa)	8-15
Compressive strength (MPa)	20-100
Flexural strength (MPa)	6.9-100
Coefficient of Thermal Expansion (x10 <sup>-6</sup> □C)	1.2-8.2
Thermal conductivity (W/m.K)	25-470
Specific heat capacity (J/kg.K)	710-830
Electrical resistivity (□.m)	5x10 <sup>-6</sup> -30x10 <sup>-6</sup>