

## **MENAKAR KOMPOSIT SEBAGAI MATERIAL STRUKTUR SATELIT BERDASARKAN KEKUATANNYA**

Oleh:  
Widodo Slamet\*

### **Abstrak**

*Satelit memerlukan struktur untuk melindungi dan mengikat muatan-muatan yang dibawanya. Struktur satelit harus memenuhi berbagai persyaratan, salah satunya adalah kuat tetapi ringan. Komposit merupakan material yang kuat dan ringan, selain mudah pembuatannya yang tidak memerlukan permesinan yang rumit. Telah diteliti dan dipilih beberapa jenis komposit yang memenuhi kriteria di atas. Sebagai pembandingan adalah logam aluminium yang telah banyak digunakan sebagai material struktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa banyak jenis komposit yang memiliki sifat fisika lebih baik dari pada aluminium.*

*Kata kunci: struktur, satelit, komposit, tegangan, kekuatan*

### **Abstract**

*Satellites need a structure to protect and binding all of content are brought. Satellite structure must meet various requirements, one of which is strong but lightweight. Composite materials are strong and lightweight, easy to manufacture because does not require complicated machinery. It has been researched and selected several types of compodites that meet the above criteria. As comparasion is aluminium metal which has been widely used as structure material. The results showed that many types of composites that have better physical properties than aluminium.*

*Key words: structure, satellite, composite, stress, strain*

## **1 PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sebuah struktur satelit digunakan untuk mengikat dan melindungi muatan. Secara mekanik, struktur melindungi muatan dari lingkungan roket berupa getaran dan shock roket. Oleh karena itu struktur harus kuat. Selain itu batasan massa yang disyaratkan oleh roket mengharuskan struktur memiliki bobot yang ringan. Pada umumnya material yang telah teruji adalah aluminium jenis tertentu. Kelemahan dari penggunaan aluminium ataupun logam yang lain adalah diperlukannya proses permesinan yang rumit, yang memakan waktu yang lama.

Material lain selain logam, misalnya komposit, juga dapat dibuat untuk memiliki sifat-sifat mekanik sama dengan logam dengan bobot lebih ringan, dan manufaktur yang lebih sederhana. Penggunaan komposit sebagai material struktur satelit pernah dibuat untuk satelit FORTE (Fast On-orbit Recording of Transient Events) yang diluncurkan pada tanggal 29 Agustus 1997. Makalah ini mempelajari, memilih, dan mempertimbangkan beberapa komposit sebagai alternatif material struktur selain logam.

### **1.2 Tujuan**

Makalah ini akan melakukan penelusuran terhadap beberapa komposit mengenai sifat-sifat fisika komposit dan kemungkinannya untuk dijadikan material struktur satelit. Banyak material komposit yang memiliki sifat fisika yang memenuhi syarat. Tujuan dari penelitian ini adalah mencoba untuk membuat material komposit dengan bahan baku yang ada di pasaran, dan pengujian dilakukan di laboratorium-laboratorium yang ada di Indonesia. Harga bahan baku dan proses pembuatan struktur menggunakan komposit lebih murah dibandingkan dengan logam.

### **1.3 Batasan Masalah**

Banyak hal yang bisa dibahas mengenai komposit, satelit, dan roket. Namun makalah ini membatasi diri pada persyaratan roket yang bersifat mekanik, demikian juga bahasan masalah komposit hanya dibatasi pada sifat-sifat fisika yang berhubungan dengan kekuatan material. Masalah

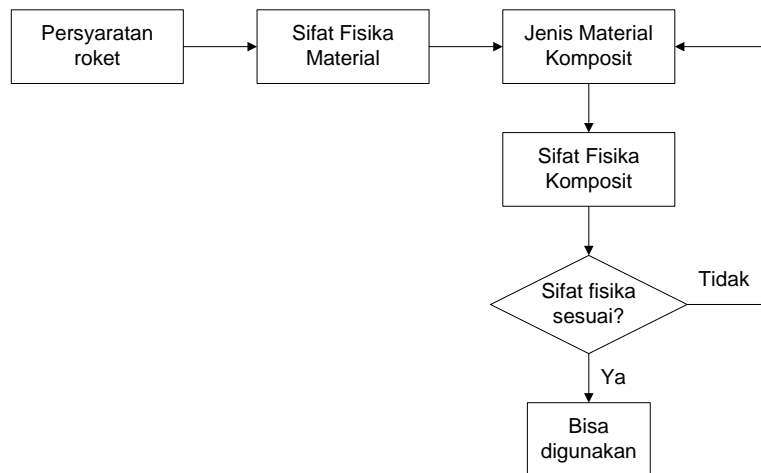
---

\* Peneliti Bidang Teknologi Bus Satelit, Pusat Teknologi Satelit. LAPAN

lingkungan orbit tidak dibahas, dan akan menjadi pokok bahasan pada makalah lain yang berhubungan dengan lingkungan antariksa. Selain itu, masalah biaya atau cost tidak disinggung pula pada makalah ini.

## 2 METODA PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan penelusuran sifat-sifat mekanik komposit dengan mengacu pada persyaratan roket. Persyaratan roket berupa batasan frekuensi natural struktur di mana di dalamnya terkandung kekakuan (*stiffness*) dan kekuatan (*strength*) material yang digunakan. Urutan dalam penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1. Metoda penelitian yang digunakan.

## 3 DASAR TEORI

### 3.1 Dasar Pemilihan Material Struktur satelit

Salah satu pertimbangan dalam merancang struktur satelit adalah material yang digunakan, selain model dan konstruksi struktur. Material dalam perancangan struktur dapat dibedakan menjadi dua yaitu logam dan non logam. Logam memiliki sifat hampir homogen pada semua bagiannya, dan bersifat isotropik serta memiliki sifat yang sama pada semua arah. Sedangkan komposit memiliki kelebihan yaitu dapat dibuat memiliki kekakuan dan kekuatan tinggi, serta memiliki koefisien ekspansi termal yang rendah. Pemilihan material berdasarkan pada sifat-sifat fisika yang berupa:

- Kekuatan (*strength*)
- Kekakuan (*stiffness*)
- Kerapatan massa (massa jenis)

### 3.2 Material Komposit

Komposit adalah sistem material yang terdiri dari dua atau lebih komponen yang masing-masing masih mempertahankan sifat fisiknya. Sistem ini terdiri dari *filler* yang memiliki kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi serta massa jenis yang rendah, yang tertanam dalam matriks bahan homogen. *Filler* yang digunakan berupa serat atau benang-benang yang disusun sedemikian sehingga memiliki kekuatan sesuai dengan keinginan perancangannya. Panjang serat bisa berukuran mikro meter hingga meter, sedangkan diameter serat mulai dari mikrometer hingga mili meter. Bahan matriks yang digunakan biasanya epoksi, polimer organik, keramik, logam dan paduan logam. Struktur yang menggunakan bahan komposit dilakukan dengan cara dicetak sehingga dapat menghilangkan sebagian besar mesin-mesin konvensional. Material komposit pada umumnya anisotropik.

#### 3.2.1 Filler

Berbagai jenis *filler* yang sering digunakan adalah serat gelas (*fiber glass*), serat organik, serat karbon, dan serat boron. Benang dari baja, niobium, atau wolfram juga sering digunakan bersama

matriks logam. Gambar 3.1 menunjukkan serat gelas yang telah disusun sedemikian hingga siap digunakan sebagai filler, sedangkan Gambar 3.2 menunjukkan serat karbon model anyaman untuk digunakan sebagai filler.



Gambar 3.1. Serat gelas (fiber glass) yang sudah tersusun sebagai filler komposit.



Gambar 3.2. Susunan serat karbon (fiber carbon) sebagai filler komposit

### **3. 2. 2 Matriks**

Matriks memiliki fungsi untuk mengikat *filler* agar bekerja secara simultan ketika serat dikenai beban. Matriks harus memiliki modulus elastisitas setinggi mungkin dan memiliki regangan relative sedekat mungkin dengan serat.

Ada dua jenis matriks yaitu matriks logam dan non-logam (resin). Matriks non-logam dibedakan lagi berdasarkan sifat termalnya, yaitu termoset dan termoplastik.

### **3. 2. 3 Matriks Non-Logam**

Matriks yang termasuk termoset adalah epoksi, fenol, polimide dan bismaleimide. Sedangkan yang termasuk termoplastik antara lain adalah Polietherether Ketone (PEEK), Poliether Imide (PEI), Poliethersulfone (PES), Poliamide Imidea (Torlon), Polamilene Sulfida (PAS). Kelebihan dari resin adalah sifat adhesinya yang baik dan tekanan yang diperlukan untuk menyatukannya dengan *filler* rendah, serta efek samping polimerisasinya, yang berupa gas, sedikit. Material komposit memiliki karakter yang jelas non-isotropik. Sifat atau karakter arah longitudinal berbeda dengan arah transversal. Paduan antara arah-arah itu menghasilkan sifat-sifat yang diinginkan. Gambar 3.3 menunjukkan persiapan penggunaan resin sebagai matriks komposit.



Gambar 3.3. Resin non-logam sedang dalam persiapan untuk digunakan sebagai matriks komposit.

**3. 2. 4 Matriks Logam**

Matriks logam yang sering digunakan adalah aluminium, magnesium, dan titanium. Serat untuk matriks logam biasanya adalah boron, karbon, dan berilium. Yang paling banyak digunakan adalah karbon aluminium.

**3. 3 Persyaratan Roket**

Secara mekanik, persyaratan roket ditunjukkan oleh beban statik dan dinamikanya terhadap satelit. Secara dinamika, persyaratan roket ini ditunjukkan dengan nilai frekuensi natural minimal sebuah satelit yang akan dibawanya. Setiap roket memiliki persyaratan berbeda namun perbedaan antar roket tidak begitu signifikan. Makalah ini akan menunjukkan persyaratan itu. Tabel 3.1 menunjukkan secara ringkas mengenai beban static dan dinamik tiga jenis roket, yaitu Atlas II, Delta (untuk semua seri), dan Titan IV.

Tabel 3.1. Persyaratan roket untuk sebuah satelit yang akan diluncurkannya.

Roket	Load factors (g)						Frekuensi natural minimum (Hz)	
	Lift-off		Flight		Sparasi roket I/II		Aksial	Lateral
	Aksial	Lateral	Aksial	Lateral	Aksial	Lateral		
Atlas II	+0,2 -2,7	±1,0	-1,9 -2,5	±1,6	+0,5 -6,0	±2,0	15	10
Delta	+0,2 -2,2	±2,0	-- --	--	-5,7 -6,3	--	35	15
Titan IV	0,0 -3,0	±2,5	0,0 -3,0	±2,5	+0,2 -6,0	±2,5	--	2,5

Dari persyaratan roket yang tertera pada Table 1 tersebut, besarnya gaya yang akan diterima oleh struktur satelit tergantung pada massa satelit. Sedangkan frekuensi naturalnya harus diatas persyaratan itu, yang artinya stiffness minimal dapat dihitung dari frekuensi natural minimal dan massa satelitnya.

**3. 4 Sifat Fisika Material**

**3. 4. 1 Tegangan dan Regangan (*Stress* dan *Strain*)**

Jika sebuah spesimen diberi gaya normal akan mengalami deformasi. Besarnya gaya normal dibanding dengan luas permukaan didefinisikan sebagai tegangan atau *stress*. Tegangan normal akan menimbulkan perpanjangan spesimen. Perpanjangan per satuan panjang didefinisikan sebagai regangan atau *strain*.

Secara matematis, tegangan dapat ditulis sebagai berikut:

$$\sigma = \frac{dP}{dA} \dots\dots\dots(3-1)$$

yang mana  $dP$  adalah gaya normal yang dikenakan pada luasan  $dA$ . Satuan tegangan ini adalah  $N/m^2$  atau Pa (pascal). Sedangkan regangan ditulis sebagai:

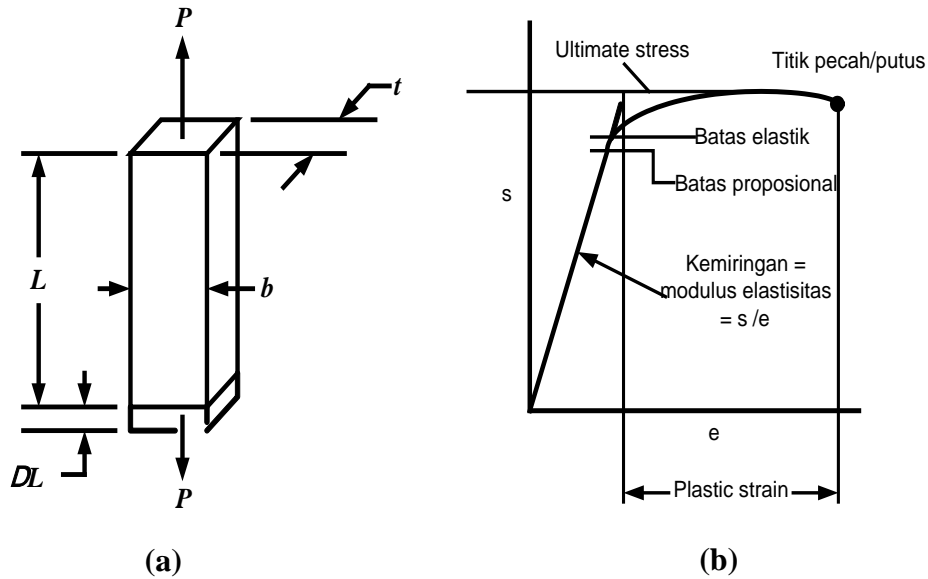
$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots(3-2)$$

yang mana  $\Delta L$  adalah perubahan panjang material.

Perbandingan antara *stress* terhadap *strain* didefinisikan sebagai modulus Young, yang sering disebut juga sebagai modulus elastisitas.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(3-3)$$

Perbandingan ini sering juga disebut sebagai hukum Hook yang berlaku hanya pada daerah elastisitas material. Untuk lebih jelasnya bias dilihat pada Gambar 3.4 yang menunjukkan gaya normal, luasan, dan perpanjangan material beserta batasan hukum Hook.



Gambar 3.4. Gaya normal, luasan, dan perpanjangan material beserta batasan hukum Hook, (a)  $s=P/A$ , (b) garis linier menunjukkan daerah elastic di mana hukum Hook masih berlaku.

**3. 4. 2 Kekakuan (*Stiffness*) dan Massa Jenis (*Density*)**

Semua benda memiliki frekuensi natural. Frekuensi natural adalah frekuensi minimal di mana sebuah benda akan ikut bergetar jika benda lain, yang berdekatan, bergetar. Dengan kata lain terjadi resonansi. Jika sebuah satelit yang diluncurkan dengan sebuah roket mengalami resonansi terhadap getaran roket maka satelit tersebut akan mengalami kerusakan. Oleh karena itu frekuensi natural satelit harus jauh di atas frekuensi getaran roket.

Jika sebuah benda bergetar karena adanya gaya luar maka persamaan gerak benda dapat digambarkan secara matematis sebagai:

$$mx(t) + cx(t) + kx(t) = F9(t) \dots\dots\dots(3-4)$$

yang mana  $m$  adalah massa benda,  $c$  adalah redaman, dan  $k$  adalah kekakuan atau stiffness benda. Salah satu solusi persamaan tersebut, dengan menganggap redaman sangat kecil dan dapat diabaikan,

menghasilkan frekuensi naturar berupa frekuensi sudut  $\omega_n$  yang kemudian dapat diubah menjadi frekuensi linier  $f_n$ , dan dalam bentuk persamaan berikut:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \dots \dots \dots (3-5)$$

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \dots \dots \dots (3-6)$$

yang mana  $k$  adalah *stiffness* dan  $m$  adalah massa.

Kekuatan atau *stiffness* didefinisikan sebagai ukuran beban yang dapat menyebabkan adanya perubahan bentuk, dalam hal ini adalah panjang. Satuan yang digunakan adalah N/m. Secara matematis dapat ditulis sebagai:

$$k = \frac{P}{\delta} \dots \dots \dots (3-7)$$

yang mana  $P$  adalah gaya yang bekerja pada benda,  $\delta$  adalah perubahan bentuk. Dari persamaan-persamaan (3-1), (3-2), dan (3-3) di atas maka *stiffness* dapat dilihat dari besaran modulus Youngnya, yaitu:

$$E = \frac{dP.L}{dA.\Delta L} \dots \dots \dots (3-8)$$

yang mana  $E$  adalah modulus Young,  $dA$ ,  $\Delta L$  merupakan perubahan bentuk seperti yang ditunjukkan oleh persamaan (3-7). Jika  $dA$  tetap maka perubahan bentuk hanya ditunjukkan oleh  $\Delta L$ .

Massa jenis juga sangat berpengaruh terhadap *stiffness* material, apalagi jika digunakan sebagai material struktur satelit. Bobot maksimum sebuah satelit ditentukan oleh persyaratan dari roketnya. Selain itu biaya peluncuran sebuah satelit juga dihitung berdasarkan massa satelit. Oleh karena itu massa jenis material perlu mendapat perhatian pada saat perancangan struktur.

Sebagai pembanding akan diperlihatkan sifat-sifat fisika logam aluminium paduan, titanium, dan berilium yang sering digunakan sebagai material struktur satelit. Tabel 3.2 menunjukkan sifat-sifat fisika aluminium paduan dan logam-logam tersebut.

Tabel 3.2. Sifat-sifat fisika Aluminium, Titanium dan Berilium

Jenis Logam	Modulus Young (E)	Ultimate Stress	Kerapatan Massa ( $\rho$ )
	Gpa	(s) Mpa	
Al 6061 - T6	67	289	2710
Al7074 - T6	71	523	2800
Ti6Al-V	110	1103	4430
Berilium	203	426	2100

### 3. 5 Pengujian Kekuatan Komposit

Spesimen komposit diletakkan pada *universal test machine* dengan cara dijepit ujung-ujungnya, kemudian ditarik perlahan dengan waktu  $\pm 5$  menit, atau hingga mencapai kerusakan atau putus (ASTM D3039), dengan kecepatan 2 mm/menit. Sebuah starin gauge digunakan untuk mengukur perpanjangan dan modulus elastisitasnya. Gambar 6 menunjukkan pengujian yang dilakukan.



Gambar 6. Pengujian specimen komposit untuk menentukan kekuatan metrial komposit.

#### 4 DATA DAN ANALISA DATA

Beberapa komposit, baik yang menggunakan matriks non-logam maupun logam, telah diuji kekuatannya. Data yang diperoleh dibuat tabel. Tabel 4.1 dan 4.2 menunjukkan sifat-sifat fisika komposit dengan matrks non-logam dan logam.

Tabel 4.1. Sifat-sifat Fisika komposit dengan matriks non-logam

Material Komposit	Modulus Young (E) GPa	Ultimate Stress (s) MPa	Kerapatan Massa ( $\rho$ ) kg/m <sup>3</sup>
Serat gelas/epoksi	51.7	2070	1940
Serat aramid/epoksi	82.7	1930	1400
Karbon/epoksi	152	1410	1500
Boron/epoksi	214	1520	2080

Tabel 4.2. Sifat-sifat fisika komposit dengan matriks logam

Material Komsit	Modulus Young (E) GPa	Ultimate Stress (s) MPa	Kerapatan Massa ( $\rho$ ) kg/m <sup>3</sup>
Boron-Aluminium	235	1250	2650
Karbon-Aluminium	230	900	2250
Baja (steel)-Aluminium	117	1550	4470
Boron-Titanium	270	1400	3500

Sifat-sifat fisika yang diinginkan untuk bisa digunakan sebagai material struktur satelit adalah memiliki kekuatan tinggi namun mempunyai bobot yang ringan. Jika data-data sifat fisika komposit yang ada dibandingkan dengan sifat fisika Al6061-T6, yang paling banyak digunakan sebagai material struktur satelit, maka lebih dari satu jenis material yang dapat digunakan. Al6061-T6 memiliki  $E = 67$  GPa;  $s = 289$  MPa;  $\rho = 2710$  kg/m<sup>3</sup>. Material yang secara fisika lebih baik dari pada Al6061-T6 haruslah memiliki  $E$  yang lebih besar,  $s$  yang lebih besar, serta  $\rho$  yang lebih kecil dibandingkan dengan aluminium tersebut. Tabel 4.3 menunjukkan nilai  $E$ ,  $s$ , dan  $\rho$  beberapa komposit yang diteliti.

Tabel 4.3. Beberapa komposit yang telah diuji dan memenuhi nilai persyaratan kekuatan.

Material Komposit	Modulus Young (E) GPa	Ultimate Stress (s) MPa	Kerapatan Massa ( $\rho$ ) kg/m <sup>3</sup>
Serat aramid/epoksi	82.7	1930	1400
Karbon/epoksi	152	1410	1500
Boron/epoksi	214	1520	2080
Boron-Aluminium	235	1250	2650
Karbon-Aluminium	230	900	2250

## 5 KESIMPULAN

Bahwa material yang digunakan untuk struktur sebuah satelit harus memiliki sifat fisika yang kuat tetapi ringan. Kuat dan ringan memiliki batas tertentu. Sifat-sifat ini dipenuhi oleh bahan logam misalnya aluminium jenis Al6061-T6, karena telah terbukti. Ternyata banyak material komposit yang memiliki sifat-sifat ini. Oleh karena itu perlu ditakar atau dipertimbangkan untuk digunakan sebagai material struktur satelit.

Kelebihan komposit dibanding logam adalah pembuatannya yang tidak memerlukan permesinan yang rumit serta harganya lebih murah, banyak tersedia di pasaran. Dari data yang diperoleh, ada beberapa jenis komposit yang memenuhi syarat fisika yaitu Serat aramid/epoksi, Karbon/epoksi, Boron/epoksi, Boron-Aluminium, Karbon-Aluminium.

## DAFTAR PUSTAKA

- Wijker, Jacob Job, *Spacecraft Structure*, Dutch Space BV, Leiden, Netherlands, 2008.
- Fortescue, Peter, *Spacecraft System Engineering*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, 2003.
- Sarafin, Thomas P., *Spacecraft Structure and Mechanisms*, Microcosm, Inc., Torrance, California, 1997.
- Wertz, James R., *Space Mission Analysis and Design*, Microcosms, Inc., El Segundo, California, 2005
- Shigley, Joseph E., *Mechanical Engineering Design*, Mc Graw-Hill, New York, 2004.

## DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS

### DATA UMUM

Nama Lengkap : Widodo Slamet  
 Tempat & Tgl. Lahir : Solo, 15 Juli 1962  
 Jenis Kelamin : Laki-laki  
 Instansi Pekerjaan : Pustekelegan - LAPAN  
 NIP. / NIM. : 19620715 199203 1 005  
 Pangkat / Gol. Ruang : Penata Tk. I – III/d  
 Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti Madya  
 Agama : Islam  
 Status Perkawinan : Menikah

### DATA PENDIDIKAN

STRATA 1 (S.1) : FISIKA ITB Tahun: 1991  
 STRATA 2 (S.2) : TEKNIK MESIN UI Tahun: 2001



**ALAMAT**

Alamat Rumah

: Bumi Menteng Asri Blok BH/8 Bogor

Telp. : 0251- 8373660. HP. : 0818 1680306

Alamat Kantor / Instansi

: Jl. Cagak Satelit KM. 04

Rancabungur, Bogor, Jawa Barat

Telp. : 0251-621667. E-mail : [wid\\_slamet@yahoo.com](mailto:wid_slamet@yahoo.com)