

## ANALISIS PROTEKSI TERMAL KOMPONEN ELEKTRONIK SATELIT MENGUNAKAN MATERIAL PCM

Oleh:  
Widodo Slamet\*

### **Abstrak**

*Kondisi temperatur ekstrim antariksa dan disipasi komponen elektronik mengharuskan adanya perlindungan atau proteksi termal komponen elektronik dari peningkatan temperatur yang dapat mengakibatkan kerusakan komponen tersebut. Salah satu cara adalah menggunakan material untuk menyalurkan panas dari komponen menuju pembuangan panas atau radiator. Material tersebut merupakan material PCM (phase-change material). Untuk menampung panas dan menyimpannya, material itu akan berubah fasa jika temperaturnya berubah. Akan dilihat distribusi panas pada material tersebut saat dialiri panas dari komponen menuju radiator. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan temperatur komponen pada saat menggunakan PCM dan tanpa PCM. Penggunaan PCM menunjukkan temperatur komponen elektronik lebih rendah dibandingkan dengan tanpa menggunakan PCM.*

*Kata kunci: komponen elektronik, termal, disipasi, PCM, radiator.*

### **Abstract**

*Extreme temperature conditions of space and dissipation of electronic components require thermal protection of electronic components of the increase in temperature may cause damage to components. One manner is to use the material to distribute the heat from the components to the exhaust heat or radiator. In order to accommodate the heat and keep it, the material will change phase when its temperature changes. The material is a material PCM (phase-change material). Will be seen in theory of heat distribution in materials such as heat flowed from the component toward the radiator. The measurement results showed that different component temperatures when using PCM and without PCM. The use of PCM shows alower temperature of electronic component compared with no use of PCM.*

*Key words: components electronics, thermal, dissipation, PCM, radiator.*

## **1. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Sebuah satelit mengandung banyak komponen elektronik yang rentan terhadap panas yang ekstrim. Sementara itu komponen itu sendiri saat dijalankan atau dalam kondisi “on” akan mengeluarkan panas atau disipasi. Kondisi panas ekstrim ditambah dengan panas dari komponen akan merusak komponen elektronik. Selain panas ekstrim, lingkungan antariksa juga memiliki temperatur rendah yang juga dapat mengganggu kinerja komponen elektronik. Untuk itu perlu adanya antisipasi terhadap kondisi termal tersebut.

Salah satu antisipasi untuk menghadapi kondisi termal tersebut adalah menggunakan material yang mampu membuang dan menyimpan panas. Material ini diletakkan di antara komponen dan dinding luar satelit untuk satelit sekelas mikro (tanpa radiator), atau diantara komponen dan radiator (untuk satelit besar yang menggunakan radiator). Material yang mampu untuk melakukan tugas di atas adalah material yang mampu menyerap panas dengan cara mengubah fasa, misalnya dari padat menjadi cair. Dengan kata lain disebut sebagai material berubah fasa atau *phase-change material* (PCM).

### **1.2 Permasalahan dan Batasan Masalah**

Masalah yang timbul dengan pemikiran di atas adalah material apa yang mampu membuang panas jika komponen elektronik sedang bekerja (*on*), dan mampu menyimpan panas pada saat komponen elektronik sedang tidak bekerja (*off*).

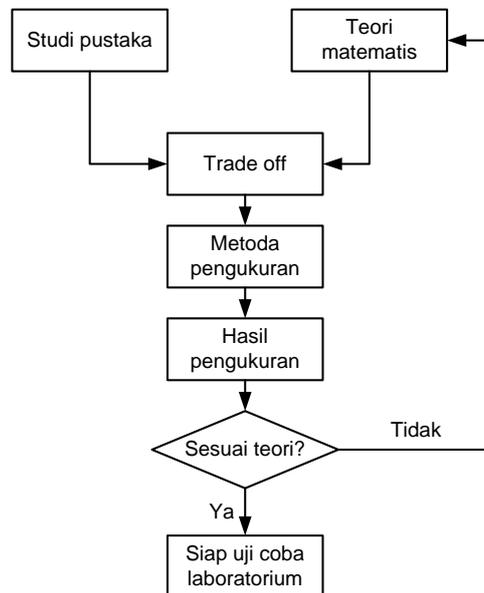
Makalah ini membatasi diri pada beberapa material PCM yang ada, serta pengukuran dilakukan hanya pada material *polyethylene glycol* yang dianggap mewakili sifat-sifat material PCM.

---

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

## 2. METODA PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan cara melakukan studi pustaka untuk menemukan referensi material yang mampu digunakan untuk proteksi termal. Selanjutnya adalah mencari contoh-contoh penggunaan material tersebut dan mempelajari bagaimana perumusan secara matematis yang membuktikan bahwa material tersebut bisa digunakan. Metoda dalam bentuk diagram diperlihatkan pada Gambar 2.1.



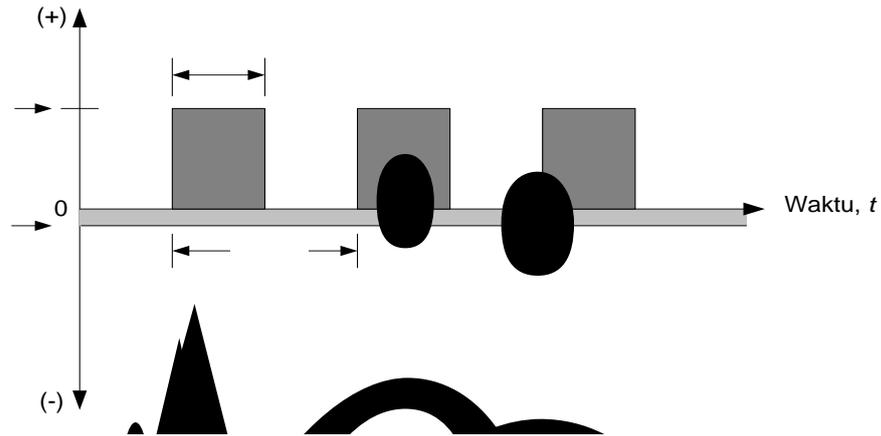
Gambar 2.1. Metoda penelitian yang dilakukan

## 2. DASAR TEORI

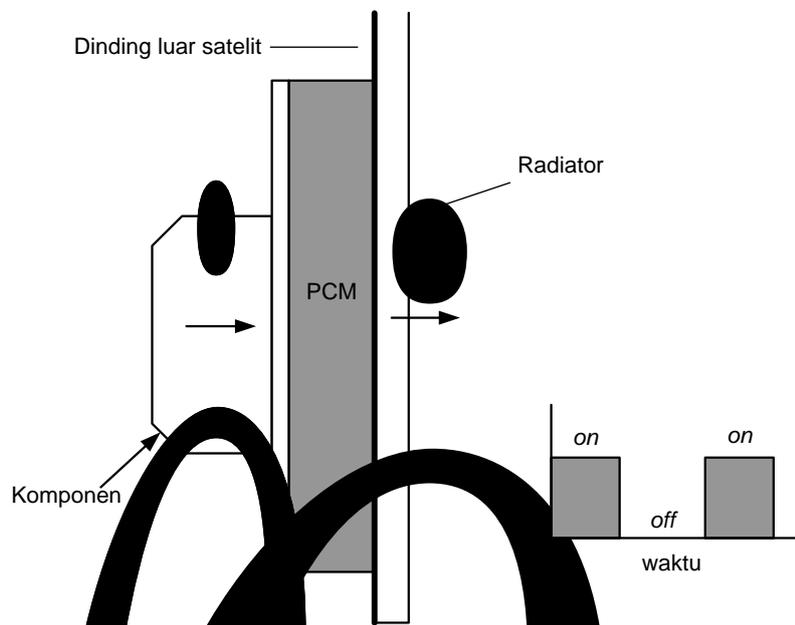
### 2.1 Disipasi Komponen Elektronik

Sebuah komponen elektronik yang sedang bekerja atau dalam keadaan “on” tidak dapat menyerap semua energi listrik yang dialirkan ke komponen tersebut. Sebagian akan diubah menjadi energi panas. Energi panas yang keluar inilah yang disebut sebagai disipasi. Komponen elektronik satelit beroperasi secara periodik oleh karena itu termal yang ditimbulkannya pun juga berubah secara periodik. Gambar 2.1 menunjukkan periodisasi termal komponen elektronik yang ada pada sebuah satelit.

Termal atau panas yang timbul akan disalurkan ke pembuangan panas (radiator) melalui material PCM yang terletak di antara komponen elektronik dan radiator. Gambar 2.2 menunjukkan aliran panas dari komponen yang dialirkan keluar. Disipasi panas akan diteruskan melalui PCM menuju radiator atau pembuang panas bentuk lain.



Gambar 2.1. Siklus disipasi termal komponen elektronik satelit.



Gambar 2.2. Aliran panas disipasi komponen elektronik dialirkan ke luar melalui PCM.

## 2. 2 Material PCM

Material PCM (*Phase Change Material*) adalah material yang memiliki sifat berubah fasa jika terjadi perubahan temperatur. Sifat ini dapat digunakan untuk menyalurkan, menyimpan atau membuang panas dari lingkungan sekitarnya. Untuk keperluan satelit dalam menghadapi temperatur antariksa, material ini bisa digunakan untuk menjaga temperatur komponen elektronik sehingga komponen tersebut dapat bekerja secara optimal.

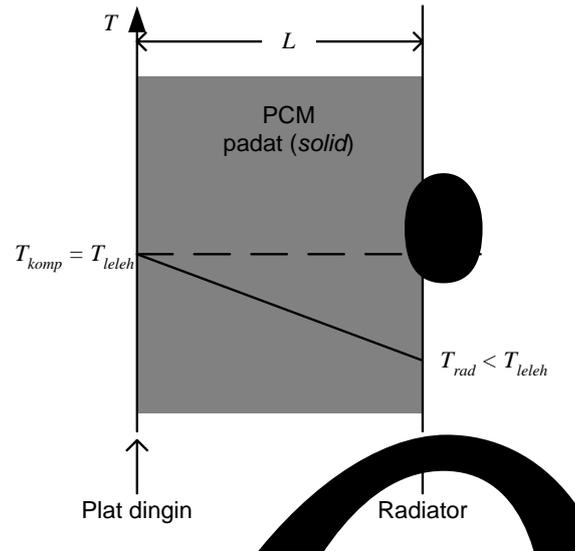
Distribusi panas yang dikonduksikan melalui PCM menuju radiator dapat ditulis dalam bentuk matematis sebagai berikut.

$$\left(\frac{\partial T}{\partial X}\right)_s = \frac{\sigma A_{rad} \varepsilon T_{leleh}^4}{k_s A_{cp}} \quad (2. 1)$$

Yang mana  $T$  adalah temperatur,  $X$  menyatakan jarak,  $\sigma$  adalah konstanta *Stefan-Boltzman*,  $\varepsilon$  emitansi panas,  $A_{rad}$  menyatakan luas penampang radiator,  $A_{cp}$  adalah luas penampang material PCM,

dan  $k_s$  menyatakan daya serap panas material pada fasa padat (*solid*). Kurva persamaan (2. 1) di atas memiliki bentuk seperti ditunjukkan oleh Gambar 2.3. Setelah di aliri panas PCM mulai mencair sebagian. Setelah PCM mencair sekitar 50% maka distribusi temperatur akan berubah seperti ditunjukkan oleh Gambar 5. Pada wilayah padat, distribusi dan kemiringan temperatur masih sama tetapi untuk wilayah cair persamaan kemiringan temperatur menjadi

$$\left(\frac{\partial T}{\partial X}\right)_l = \frac{\dot{Q}_{puls a}}{k_l A_{cp}} \quad (2. 2)$$



Gambar 2.3. Kurva kecepatan perubahan temperatur pada PCM padat.

Pada saat semua material PCM mencair atau meleleh maka distribusi panas akan memiliki bentuk seperti Gambar 6, dan memiliki kemiringan sama seperti persamaan (2. 1). Pada saat material PCM meleleh atau mencair semuanya maka ketebalan PCM mencapai ketebalan maksimum, temperatur komponen menjadi maksimum dan dapat dituliskan sebagai

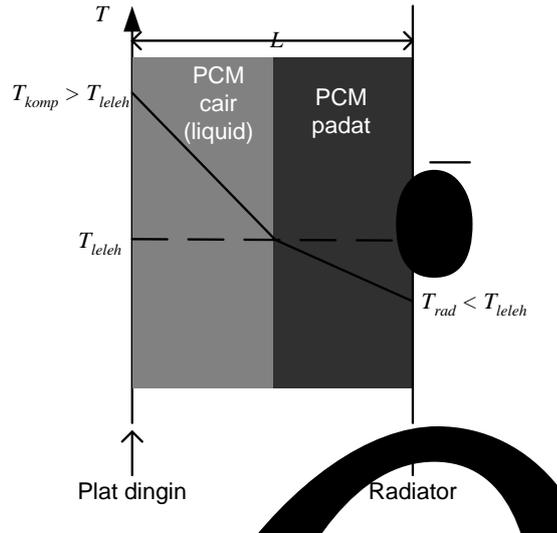
$$T_{komp maks} = T_{leleh} + (L) \left(\frac{\partial T}{\partial X}\right)_l \quad (2. 3)$$

Dengan mensubstitusi persamaan (2. 2) ke dalam persamaan (2. 3) dapat diperoleh persamaan

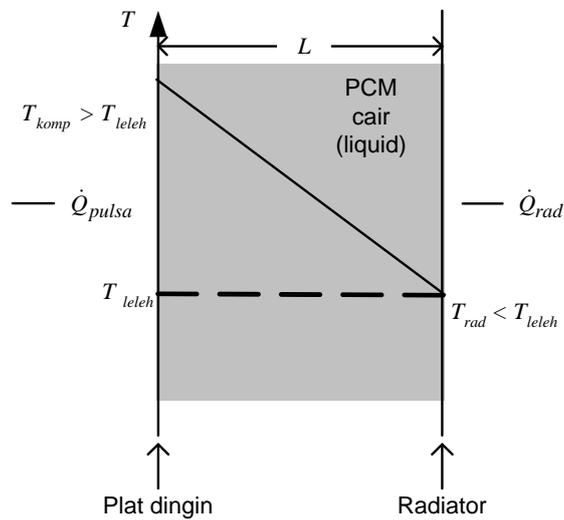
$$T_{komp maks} = T_{leleh} + \frac{\dot{Q}_{puls a} L}{k_l A_{cp}} \quad (2. 4)$$

Gambar 6 menunjukkan kurva distribusi panas untuk persamaan (2. 4)

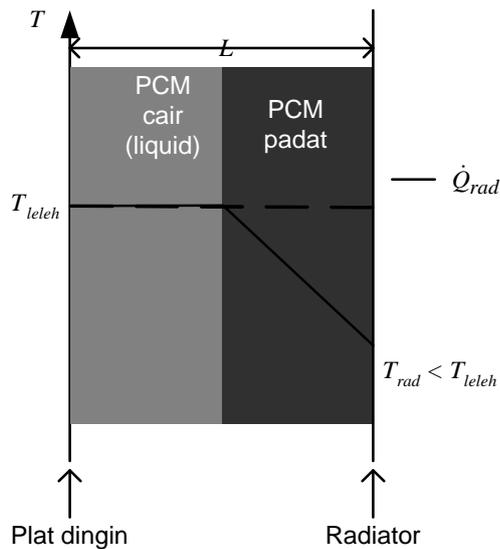
Jika sistem dirancang secara optimal maka disipasi panas akan berhenti dan batas antara cair dan padat mencapai radiator. Pendinginan dimulai dari permukaan radiator, batas cair dan padat bergerak menuju plat dingin. Setelah 50% material PCM membeku, menjadi padat, distribusi panas akan kembali seperti bentuk pada Gambar 2.6. PCM cair memiliki temperatur mendekati temperatur leleh atau titik cair, dan bagian PCM padat memiliki distribusi dengan kemiringan  $(\delta T/\delta X)_s$  seperti rumusan PCM padat sebelumnya. Setelah material PCM berbentuk padatan total maka distribusi temperatur akan kembali seperti Gambar 2.3, dan siklus temperatur disipasi komponen elektronik akan berulang kembali. Hal penting yang menjadi perhatian utama engineer, dalam hal ini, adalah temperatur maksimum harus tercapai selama terjadinya siklus temperatur.



Gambar 2.4. Distribusi panas pada saat PCM mencair 50%.



Gambar 2.5. Distribusi panas pada saat material PCM mencair secara total.



Gambar 2.6. Distribusi panas pada saat materia PCM kembali mencair dengan jumlah padatan 50%

### 2.3 Pemilihan Material PCM

Dengan sifat seperti yang telah dibahas di atas, yaitu mampu menyalurkan dan menyimpan panas dengan cara mengubah fasa maka material PCM (*phase-change materials*) dapat digunakan untuk memproteksi komponen elektronik dari disipasi panas. Panas yang diakibatkan oleh pengoperasian komponen elektronik dapat dikurangi dalam suatu siklus, yang akan menurunkan panas di bawah panas maksimum komponen, sehingga kinerja komponen tidak terganggu atau rusak.

Selanjutnya adalah memilih material apa yang memiliki sifat-sifat di atas dan mempunyai batas-batas temperatur yang memenuhi rentang temperatur komponen. Banyak material yang bisa dipilih. Tabel 1 menunjukkan kriteria untuk menentukan pilihan material PCM. Tidak ada satupun material PCM yang mampu memenuhi semua persyaratan yang tercantum pada Tabel 2.1 tersebut. Misalnya, *dibasik sodium phospat* ( $\text{Na}_2\text{HPO}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ) memiliki titik leleh tinggi ( $37^\circ\text{C}$ ) namun kapasitas panasnya kurang dari 300 kJ/kg. Contoh lain adalah *Sodium Sulfat* ( $\text{Na}_2\text{O}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ ) yang memiliki kapasitas panas tinggi ( $>300\text{ kJ/kg}$ ) namun titik lelehnya rendah ( $31^\circ\text{C}$ ). Oleh karena itu perlu adanya *trade off study* untuk menentukan material secara optimum. Tabel 2.2 menunjukkan beberapa jenis material yang dapat digunakan untuk keperluan ini.

Tabel 2.1. Kriteria pemilihan material PCM

Sifat atau karakter	Nilai yang diinginkan
Titik lebur/leleh	Tinggi
Konduktivitas termal	Tinggi
Panas spesifik	Tinggi
Kerapatan	Tinggi
Perubahan volume saat meleleh	Rendah
Tekanan penguapan	Rendah
Pelelehan dan pembekuan	Dapat balik
Ketersediaan di pasar	Ada
Harga	Terjangkau
Toksitas	Tidak beracun
Tekanan permukaan	Rendah

Tabel 2.2. Jenis material PCM yang mampu beroperasi pada rentang temperatur  $-25$  hingga  $+62^\circ\text{C}$

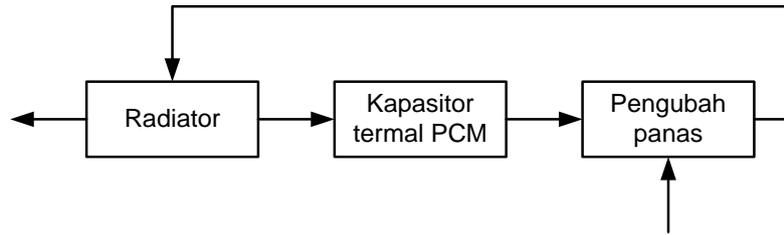
Jenis material	Titik leleh ( $^\circ\text{C}$ )	Kapasitas panas (kJ/kg)
n-Eicosane ( $\text{C}_{20}\text{H}_{42}$ )	37	246
Polyethylene glycol 600 [ $\text{HO}(\text{CH}_2\text{CH}_2)_n\text{H}$ ]	20	146
Nitrogen pentoksida ( $\text{N}_2\text{O}_5$ )	30	320
Phosponium klorida ( $\text{PH}_4\text{Cl}$ )	28	752
Dibasik sodium phospat ( $\text{Na}_2\text{HPO}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ )	37	279
Sodium Sulfat ( $\text{Na}_2\text{O}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )	31	315
Kalsium klorida ( $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ )	29	170

### 3. DATA DAN ANALISA DATA

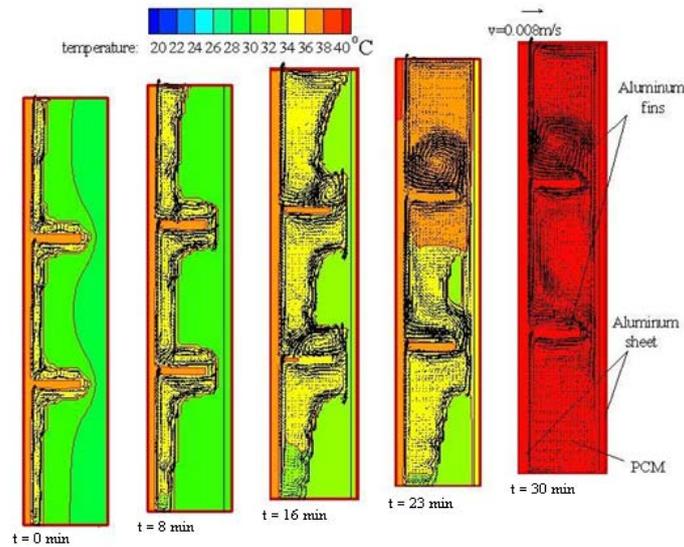
Data yang diperoleh sangat terbatas. Namun demikian data yang ada cukup mewakili untuk menyatakan bahwa penggunaan material PCM dalam memproteksi komponen elektronik satelit dapat diterima.

Pengukuran temperatur PCM dilakukan dengan menggunakan metoda mengalirkan panas dari komponen menuju radiator melalui pengubah panas dan kapasitor termal PCM. Skema pengukuran ditunjukkan oleh Gambar 3.1. Material yang digunakan adalah *polyethylene glycol*. Pengukuran dilakukan melalui simulasi menggunakan NASTRAN R2004T dengan memasukkan spesifikasi material PCM, dalam hal ini *polyethylene glycol*. Salah satu hasil simulasi ditunjukkan oleh Gambar

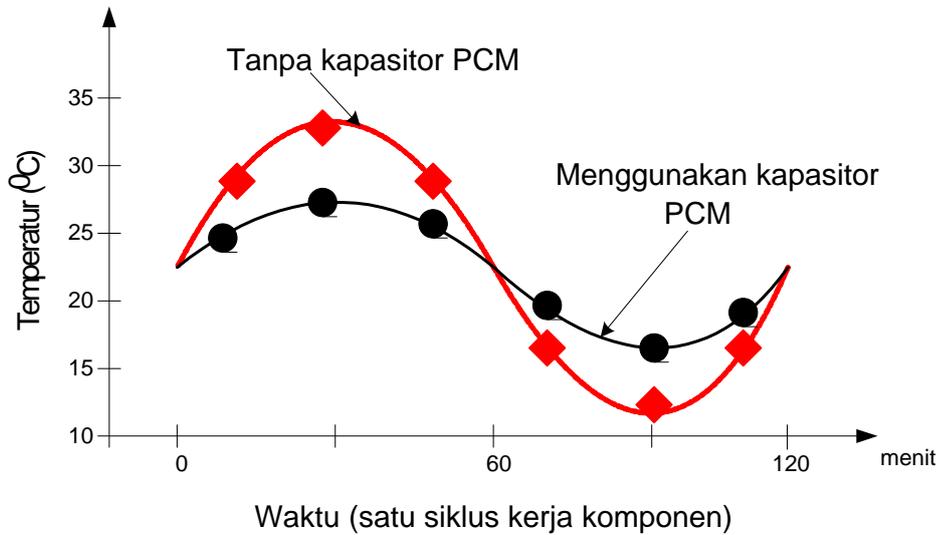
3.2. Data yang diperoleh diplot membentuk kurva temperatur pengubah panas yang dapat ditunjukkan melalui Gambar 3.3. Ada dua kurva yang mana salah satunya tidak menggunakan material PCM.



Gambar 3.1. Metoda pengukuran temperatur PCM.



Gambar 3.2. Salah satu hasil simulasi pengukuran temperatur menggunakan NASTRAN R004T



Gambar 3.3. Hasil pengukuran temperatur. Sub sistem dinyalakan selama 60 menit kemudian dimatikan.

Dari dua kurva hasil pengukuran tersebut tampak bahwa temperatur pengubah panas yang menggunakan material PCM lebih rendah dibandingkan dengan temperatur pengubah panas tanpa menggunakan material PCM. Hasil pengukuran menunjukkan adanya perbedaan temperatur, dan cukup mewakili bahwa material PCM dapat memproteksi komponen elektronik satelit dengan cara menurunkan temperatur komponen. Penurunan temperatur dilakukan dengan cara mengubah fasa material.

#### **4. KESIMPULAN**

Sebuah komponen elektronik yang sedang bekerja akan mengeluarkan panas atau disipasi. Jika panas ini tidak dibuang maka komponen akan menjadi panas dan melewati temperatur operasinya yang akan berakibat komponen tidak bekerja secara optimal.

Untuk menjaga temperatur komponen elektronik diperlukan pembuangan atau penyimpanan panas sehingga temperatur komponen dapat terjaga. Untuk itu diperlukan material yang dapat dialiri panas dan menyimpan panas tersebut. PCM (*Phase Change Material*) memiliki sifat yang dapat menyerap panas, dengan mengubah fasa, dapat dimanfaatkan untuk menyalurkan panas yang timbul dari disipasi komponen elektronik yang sedang bekerja.

Data yang diperoleh menunjukkan bahwa temperatur komponen elektronik lebih rendah bila menggunakan material PCM sebagai pengubah panas dibandingkan dengan tanpa menggunakan material PCM.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Gilmore, D. G., *Spacecraft Thermal Control Handbook*, Volume-1, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., Reston, Virginia, 2002.
- Fortescue, Peter, *Spacecraft System Engineering*, John Wiley & Sons Ltd., West Sussex, England, 2003.
- Redor, J. F., *Introduction to Space Thermal Control*, ESA, EWP1599, 1990.
- Lide, D. R., Frederikse, H. P. R., *Handbook of Chemistry and Physics*, CRC press, Boca Raton, FL, 1985.
- Cabeza, Luisa, *Temperature Control With Phase Change Material*, NATO Science Series, Vol. 234, Part V, 2007

#### **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)

## **HASIL DISKUSI DALAM PELAKSANAAN SEMINAR**

Pertanyaan :

Bpk. Subagja, (LAGG, Puspitek Serpong)

1. Mengapa struktur yang umum dipakai masih menggunakan bahan logam, bukan komposit
2. Kapan kira-kira komposit bisa di gunakan secara luas untuk struktur satelit.

Jawaban :

1. Material komposit pernah dipakai untuk struktur satelit, yaitu satelit FORTE (Fast On-orbit Recording of Transient Events). Masalah belum banyak digunakan karena masih ada faktor lain, misalnya daya tahan terhadap temperatur antariksa.
2. Penelitian masih dilakukan terus menerus di negara maju. Bisa jadi tidak lama lagi, tetapi persisnya menunggu penelitian secara lengkap, baik dari sisi kekuatan mekanik maupun kekuatan termal.