

# ANALISIS THERMAL STRUKTUR SATELIT BENTUK SILINDER

**Widodo Slamet**

Peneliti Bidang teknologi Mekanika dan Elektronika Dirgantara, LAPAN  
e-mail: wid\_slamet@yahoo.com

## ABSTRACT

The satellite temperature during its orbit has an extreme value. For this reason, we have to predict the temperature of the satellite structure. A satellite designer needs to analyze the structure temperature based on the heat transfers analysis. Two factors are needed a view factor and a radiation coupling factor. The thermal distribution on a satellite with cylinder structure under extreme illumination of solar radiation will be analyzed upon its three walls: top, mantle, and bottom of the cylinder.

Keywords: *Satellite, Structure, Orbit, Cylinder, Thermal*

## ABSTRAK

Temperatur di orbit satelit sangat ekstrim, oleh karena itu perlu diperkirakan temperatur komponen struktur. Untuk memprediksi besarnya temperatur pada struktur satelit diperlukan analisis termal berdasarkan teori transfer energi termal. Dua faktor yang mendasari analisis ini adalah faktor pandang (*view factor*) dan faktor kopling radiasi. Akan dihitung temperatur komponen struktur satelit berbentuk silinder dengan kondisi sinar matahari ekstrim terhadap mantel, tutup atas dan bawah struktur satelit berbentuk silinder.

Kata kunci: *Satelit, Struktur, Orbit, Silinder, Termal*

## 1 PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Kondisi termal lingkungan orbit di mana satelit beroperasi merupakan kondisi ekstrim, dalam arti sesungguhnya yaitu berkisar antara  $-50^{\circ}\text{C}$  hingga  $+150^{\circ}\text{C}$ . Sedangkan semua komponen satelit, terutama peralatan elektronika dibuat di bumi dengan temperatur operasi berkisar di seputar temperatur kamar, yaitu sekitar  $27^{\circ}\text{C}$ . Untuk dapat beroperasi pada orbit satelit, komponen satelit harus dilindungi dari temperatur ekstrim.

Sebelum melakukan perlindungan perlu adanya analisis, terutama terhadap struktur yang bertindak sebagai pengikat dan pelindung komponen-komponen satelit. Analisis termal sangat penting agar perlindungan dapat berjalan efisien serta penempatan komponen dapat dilakukan dengan tepat.

### 1.2 Tujuan Penulisan

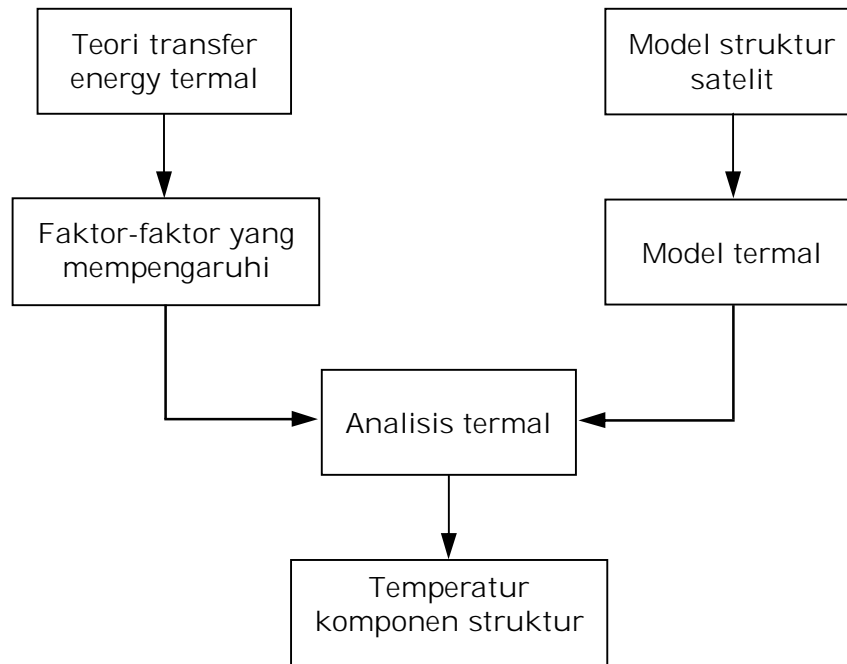
Tulisan ini membahas perhitungan analisis termal struktur satelit silinder

sederhana sebagai pembelajaran atau *trade off study* untuk dapat dilanjutkan pada tingkat yang lebih rumit. Untuk memudahkan pencapaian tujuan, struktur yang akan dianalisis berupa struktur satelit dengan bentuk silinder berongga dengan tutup atas dan bawah, dengan memberi perlakuan berupa sinar matahari ekstrim, yaitu intensitas yang tinggi.

### 1.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah menerapkan teori transfer energi, berupa energi panas atau termal terhadap dua permukaan atau lebih dengan faktor-faktor yang mempengaruhi transfer energi tersebut. Teori transfer energi diterapkan pada struktur satelit dengan bentuk geometri silinder yang memiliki dua tutup dan satu selimut.

Untuk lebih jelasnya, metode yang digunakan dapat digambarkan dalam bentuk diagram yang ditunjukkan oleh Gambar 1-1.



Gambar 1-1: Metode penelitian yang digunakan

## 2 DASAR TEORI

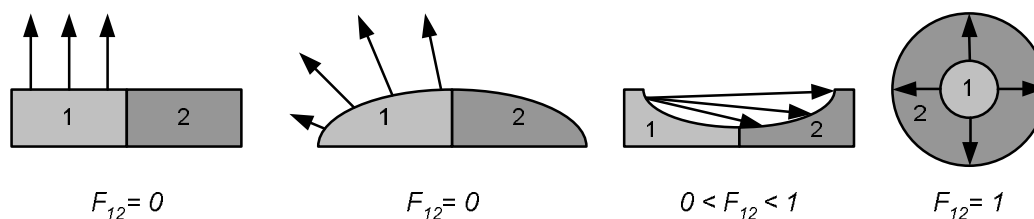
Perpindahan energi panas atau termal dapat terjadi melalui radiasi antara dua permukaan. Besarnya radiasi tergantung pada bentuk geometri antara dua permukaan tersebut. Selain itu, yang perlu diperhitungkan pula adalah radiasi sekunder antara dua permukaan yang berdekatan. Oleh karena itu ada dua faktor yang akan diperhitungkan dalam membahas perpindahan energi termal yaitu faktor pandang (*view factor*), yang merupakan faktor radiasi yang berhubungan dengan jarak dan bentuk geometri permukaan, dan faktor kopling radiasi (*radiation coupling factor*), yang memperhitungkan radiasi sekunder. Kedua faktor tersebut akan dibahas secara ringkas sebagai dasar analisis termal struktur satelit.

### 2.1 Faktor Pandang (*View Factors*)

Faktor pandang, ditulis secara singkat sebagai  $F_{i \rightarrow j}$ , atau  $F_{ji}$ , adalah

besarnya radiasi dari permukaan  $i$  yang diterima oleh permukaan  $j$ . Dalam arah sebaliknya disimbolkan dengan  $F_{ji}$ . Nilai  $F$  berada pada kisaran antara 0 dan 1 ( $0 < F < 1$ ). Sebagai contoh bentuk bola, jika radiasi dari permukaan dalam (1) menuju permukaan luar bola (2), maka faktor pandang,  $F_{12} = 1$ , karena semua radiasi dari permukaan dalam bola mengenai permukaan luar bola (Gambar 2-1). Sebaliknya,  $F_{21} \neq 1$  karena ada sebagian radiasi dari permukaan 2 yang hilang, menuju arah sebaliknya dari permukaan 1.

Secara umum dapat dikatakan bahwa pada permukaan cekung yang dibagi dua dengan memberi label "1" dan "2", maka nilai  $F$  berkisar antara 0 dan 1, karena bagian "1" dapat melihat bagian "2". Pembagian yang sama pada permukaan cembung akan menghasilkan nilai  $F = 0$  karena tidak ada radiasi dari satu permukaan ke permukaan yang lain.



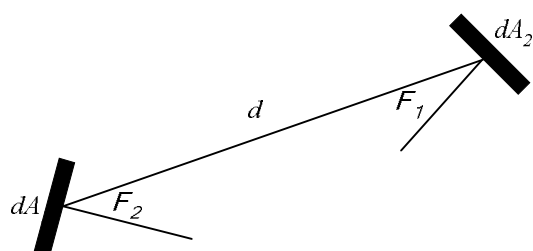
Gambar 2-1: Faktor pandang beberapa bentuk geometri

Persamaan faktor pandang berikut berlaku secara umum untuk dua benda,

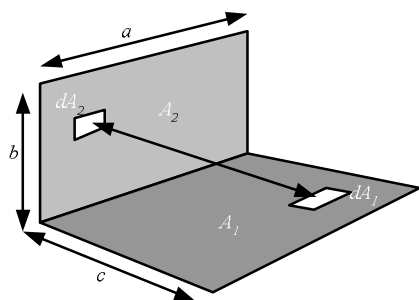
$$A_1 F_{11} = \frac{1}{\pi} \int_{A_1} \int_{A_2} \frac{\cos \phi_1 \cos \phi_2}{d^2} dA_2 dA_1 \quad (2-1)$$

Di mana  $A_1$  dan  $A_2$  merupakan luas permukaan yang meradiasikan dan yang menerima radiasi;  $dA_1$  dan  $dA_2$  masing-masing adalah bagian luas;  $\phi_1$  dan  $\phi_2$  adalah sudut garis lurus antara  $dA_1$  dan  $dA_2$  dan garis normal bidang, sedangkan  $d$  adalah jarak antara  $dA_1$  dan  $dA_2$ . Untuk lebih jelasnya, bisa dilihat pada ilustrasi Gambar 2-2.

Untuk mencari solusi persamaan (2-1) di atas memerlukan visualisasi gambar, yaitu pasangan permukaan bidang yang tegak lurus seperti Gambar 2-2, dan 2-3, yang diterapkan pada pasangan  $dA_1$  dan  $dA_2$ .



Gambar 2-2: Dua permukaan  $dA_1$  dan  $dA_2$  yang masing-masing memancarkan dan menerima radiasi termal



Gambar 2-3: Aliran termal antara dua bidang yang tegak lurus

Banyak analisis yang telah dilakukan untuk menemukan faktor pandang pada beberapa bentuk geometris yang difasilitasi oleh aturan-aturan matematika. Aturan-aturan tersebut adalah:

**Aturan resiprositas**, menyatakan bahwa  $A_i F_{ij} = A_j F_{ji}$ , sehingga

$$F_{ji} = \frac{A_i}{A_j} F_{ij} \quad (2-1a)$$

**Aturan penjumlahan** menetapkan bahwa, jumlah semua faktor pandang pada volume tertutup mempunyai nilai satu satuan, dengan demikian

$$\sum_{j=i}^N F_{ij} = 1 \quad (2-1b)$$

**Aturan simetris** mendukung pemikiran bahwa faktor pandang sama di sekeliling sumbu simetri, maka untuk sumbu simetri

$$F_{12} = F_{13} = F_{14} \quad (2-1c)$$

**Aturan superposisi** memperbolehkan kita untuk menemukan secara analitik faktor pandangan yang tak kelihatan dengan cara pengurangan satu faktor pandang dari faktor pandang yang lainnya.

$$F_{13} = F_{1(2+3)} - F_{12} \quad (2-1d)$$

## 2.2 Faktor Kopling Radiasi (Radiation Coupling Factor)

Faktor kopling radiasi merupakan faktor yang memperhitungkan radiasi sekunder dari permukaan yang berdekatan. Cengel, dalam bukunya *Heat Transfer, A practical Approach*, menunjukkan bahwa faktor kopling radiasi antara dua permukaan  $k$  dan  $i$  harus mempertimbangkan sejumlah  $n$

permukaan yang berdekatan  $j$ , melalui persamaan

$$R_{ki} = \varepsilon_k A_k \left\{ \sum_{j=1}^n F_{kj} [\delta_{ij} - (1 - \varepsilon_i) F_{ij}]^{-1} \right\} \varepsilon_i \quad (2-2)$$

di mana  $\delta_{ij}$  adalah matriks identitas. Jika benda berbentuk cekung (*concave*) dalam semua arah, misalnya permukaan dalam sebuah satelit di antariksa, faktor pandangan seluruhnya = 1, dan persamaan (2-2) tereduksi menjadi

$$R_k = \varepsilon_k A_k \quad (2-3)$$

Aliran total energi termal antara dua benda  $i$  dan  $k$ , yaitu  $\Delta q$  merupakan selisih antara  $q_{ik}$  dan  $q_{ki}$  yang mengalir pada arah masing-masing. Dari persamaan Stefan-Boltzmann  $q_e \equiv \varepsilon A_e \sigma T^4$  diperoleh

$$\Delta q_{k \rightarrow i} = q_{ki} - q_{ik} = R_{ki} (\sigma T_k^4 - \sigma T_i^4) \quad (2-4)$$

Persamaan di atas menggambarkan faktor kopling radiasi yang berhubungan dengan aliran energi termal antar benda yang melibatkan luasan, pancaran, dan faktor pandang. Persamaan keseimbangan termal untuk benda ke  $m$  menjadi:

$$m_m c_m \frac{dT_m}{dt} = - \sum_{i=1}^n (\delta_{im} \varepsilon_m A_m - R_{im}) \sigma T_i^4 + \sum_{w=1}^p R_{mw} \sigma T_w^4 + q_{sm} \quad (2-5)$$

di mana  $m$  adalah massa benda dan  $c$  adalah panas spesifik dari materialnya, (misalnya untuk paduan aluminium (*alluminium alloys*)  $\approx 900$  J/kg K). Penjumlahan kedua menghitung radiasi sejumlah  $w$  lempengan yang terkena radiasi matahari, misalnya bodi satelit (dengan asumsi bentuk satelit benar-benar cekung dan tidak ada pantulan eksternal), sedangkan  $q_{sm}$  adalah disipasi termal (yang hilang) pada permukaan  $m$ .

Persamaan diferensial di atas menyebabkan adanya variasi termal pada permukaan " $m$ " yang dapat dianalisis secara numerik. Keseimbangan termal akan dicapai pada saat  $dT_m/dt = 0$ .

Silinder mempunyai tiga dinding, yaitu tutup atas, mantel, dan tutup bawah yang kita beri nomor, 1, 2, dan 3. Pada persamaan (2-2) dinyatakan dengan perkalian matriks 3 x 3 menjadi persamaan matriks berikut:

$$R_{ki} = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 A_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 A_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 A_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 - (1 - \varepsilon_1) F_{11} & 0 - (1 - \varepsilon_1) F_{12} & 0 - (1 - \varepsilon_1) F_{13} \\ 0 - (1 - \varepsilon_2) F_{21} & 1 - (1 - \varepsilon_2) F_{22} & 0 - (1 - \varepsilon_2) F_{23} \\ 0 - (1 - \varepsilon_3) F_{31} & 0 - (1 - \varepsilon_3) F_{32} & 1 - (1 - \varepsilon_3) F_{33} \end{bmatrix}^{-1} \circ \begin{bmatrix} \varepsilon_1 & 0 & 0 \\ 0 & \varepsilon_2 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon_3 \end{bmatrix} \quad (2-6)$$

Dengan bantuan persamaan (2-4), persamaan (2-5) dapat ditulis dalam bentuk:

$$\begin{aligned} m_1 c_1 \frac{dT_1}{dt} &= \Delta q_{1w \leftrightarrow 1} + \Delta q_{2 \leftrightarrow 1} + \Delta q_{3 \leftrightarrow 1} + q_{s1} \\ m_2 c_2 \frac{dT_2}{dt} &= \Delta q_{1 \leftrightarrow 2} + \Delta q_{2w \leftrightarrow 2} + \Delta q_{3 \leftrightarrow 2} + q_{s2} \\ m_3 c_3 \frac{dT_3}{dt} &= \Delta q_{1 \leftrightarrow 3} + \Delta q_{2 \leftrightarrow 3} + \Delta q_{3w \leftrightarrow 3} + q_{s3} \end{aligned} \tag{2-7}$$

Dengan mensubstitusi  $\Delta q$  dengan fungsi temperatur, sebagaimana persamaan (2-4), kita dapatkan:

$$\begin{aligned} m_1 c_1 \frac{dT_1}{dt} &= R_{1w}(\sigma T_{1w} - \sigma T_1^4) + R_{21}(\sigma T_2^4 - \sigma T_1^4) + R_{31}(\sigma T_3 - \sigma T_1^4) + q_{s1} \\ m_2 c_2 \frac{dT_2}{dt} &= R_{12}(\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4) + R_{2w}(\sigma T_{2w} - \sigma T_2^4) + R_{32}(\sigma T_3 - \sigma T_2^4) + q_{s2} \\ m_3 c_3 \frac{dT_3}{dt} &= R_{13}(\sigma T_1 - \sigma T_3^4) + R_{23}(\sigma T_2^4 - \sigma T_3^4) + R_{3w}(\sigma T_{3w} - \sigma T_3^4) + q_{s3} \end{aligned} \tag{2-8}$$

Di mana  $R_{iw}$  dan  $T_{iw}$  merujuk pada dinding eksternal  $i$ , dan  $q_{si}$  adalah disipasi termal dari unit yang dipasang pada dinding  $i$  ( $i = 1, 2, 3$ ) di dalam ruang satelit. Pada saat kesetimbangan di mana  $dT_i/dt = 0$ , didapat:

$$\begin{aligned} 0 &= R_{1w} \left( \frac{\alpha_{1w} A_{a1}}{\varepsilon_{1w} A_{e1}} S \cos(90^0) - \sigma T_1^4 \right) + R_{21}(\sigma T_2^4 - \sigma T_1^4) + R_{31}(\sigma T_3 - \sigma T_1^4) + q_{s1} \\ 0 &= R_{12}(\sigma T_1^4 - \sigma T_2^4) + R_{2w} \left( \frac{\alpha_{2w} A_{a2}}{\varepsilon_{2w} A_{e2}} S \cos \theta_s - \sigma T_2^4 \right) + R_{32}(\sigma T_3 - \sigma T_2^4) + q_{s2} \\ 0 &= R_{13}(\sigma T_1 - \sigma T_3^4) + R_{23}(\sigma T_2^4 - \sigma T_3^4) + R_{3w} \left( \frac{\alpha_{3w} A_{a3}}{\varepsilon_{3w} A_{e3}} S \cos(90^0 - \theta_s) - \sigma T_3^4 \right) + q_{s3} \end{aligned} \tag{2-9}$$

Pada persamaan tersebut  $\sigma T_w$  dinyatakan dalam bentuk  $\varepsilon_w$ ,  $A_a$ , dan  $A_e$  sebagaimana dinyatakan oleh **persamaan temperatur satelit**, yaitu:

$$T = \left( \frac{\alpha A_a S}{\varepsilon A_e \sigma} \right)^{1/4} \tag{2-10}$$

dan  $\theta_s$  adalah sudut datang sinar matahari. Pada kasus ini diasumsikan bahwa penyinaran pada mantel dan

bagian bawah silinder, dengan catatan  $\cos(90^0)$ , pada persamaan pertama dari tiga persamaan di atas, sama dengan 0.

Cara paling mudah memecahkan tiga persamaan di atas untuk  $T_1$ ,  $T_2$ , dan  $T_3$  adalah membuat matriks dengan mengeluarkan  $\sigma T_i^4$  dalam matriks kolom. Setelah melalui berbagai manipulasi matematis didapatkan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} &\begin{bmatrix} R_{1w} + R_{21} + R_{31} & -R_{21} & -R_{31} \\ -R_{12} & R_{12} + R_{2w} + R_{32} & -R_{32} \\ -R_{13} & -R_{23} & R_{13} + R_{23} + R_{3w} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma T_1^4 \\ \sigma T_2^4 \\ \sigma T_3^4 \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} R_{1w} \frac{\alpha_{1w} A_{a1}}{\varepsilon_{1w} A_{e1}} S \cos(90^0) + q_{s1} \\ R_{2w} \frac{\alpha_{2w} A_{a2}}{\varepsilon_{2w} A_{e2}} S \cos(\theta_s) + q_{s2} \\ R_{3w} \frac{\alpha_{3w} A_{a3}}{\varepsilon_{3w} A_{e3}} S \cos(90^0 - \theta_s) + q_{s3} \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{2-11}$$

Ditulis secara singkat:

$$[R][\sigma T^4] = [R.H.] \quad (2-12)$$

Selanjutnya, rumus di atas dapat ditulis dalam bentuk:

$$[\sigma T^4] = [R]^{-1} [R.H.] \quad (2-13)$$

Dengan demikian temperatur T dapat dihitung.

Di luar                      Di dalam

$$\alpha_{1w} = 0,2 \quad \epsilon_1 = 0,7$$

$$\epsilon_{1w} = 0,3 \quad \epsilon_2 = 0,2$$

$$\alpha_{2w} = 0,8 \quad \epsilon_3 = 0,7$$

$$\epsilon_{2w} = 0,9 \quad A_1 = A_{e1} \text{ (dinding tipis)}$$

$$\alpha_{3w} = 0,6 \quad A_2 = A_{e2} \text{ (dinding tipis)}$$

$$\epsilon_{3w} = 0,3 \quad A_3 = A_{e3} \text{ (dinding tipis)}$$

### 3 DATA DAN ANALISIS DATA

#### 3.1 Model Data

Sebagai bahan *trade off study*, model struktur yang digunakan adalah model silinder sederhana dengan ukuran yang mudah dipahami. Bentuk silinder lurus, berongga, dan permukaan silinder terdiri dari tutup atas, mantel, dan tutup bawah. Penyinaran matahari pada bagian luar silinder dapat diukur, dan juga akan dipasang dua unit *power-dissipating* di dalamnya dengan asumsi tidak ada konduksi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 3-1. Parameter-parameter yang dipilih adalah:  $r = 1 \text{ m}$ ;  $h = 1 \text{ m}$ ;  $\theta_s = 45^\circ$

$$S = 1353 \text{ W/m}^2; \sigma = 5,6 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$$

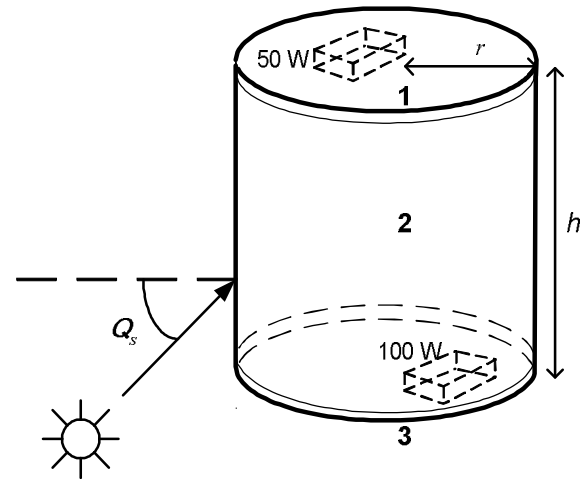
$q_{s1} = 50 \text{ W}$  (boks sangat kecil, tidak ada konduksi)

$$q_{s2} = 0 \text{ W}$$

$q_{s3} = 100 \text{ W}$  (boks sangat kecil, tidak ada konduksi)

$$F_{13} = \frac{\pi A_1}{2} \left( 2r^2 + h^2 - h\sqrt{4r^2 + h^2} \right)$$

adalah faktor pandangan dari dua lempeng atau plat lingkaran yang sejajar.



Gambar 3-1: Sebuah silinder lurus berongga dengan tutup atas, mantel, dan tutup bawah

#### 3.2 Analisis Data

Data di atas akan dimasukkan ke dalam persamaan-persamaan yang telah disebutkan secara manual. Hasil perhitungan dapat ditampilkan sebagai karakteristik silinder, faktor pandang, faktor kopling radiasi, matriks temperatur, dan terakhir adalah nilai temperatur komponen satelit pada saat terjadi kesetimbangan termal.

#### Karakteristik silinder:

		Di dalam $\epsilon$	Di luar $\epsilon_w$	Di luar $\alpha_w$	Luasan emisi radiasi $A_e \text{ (m}^2\text{)}$	Luasan penyerapan radiasi $A_a \text{ (m}^2\text{)}$	Jari-jari $r \text{ (m)}$	Tinggi $h \text{ (m)}$	Disipasi panas $q_s \text{ (W)}$
1.	Tutup atas	0,70	0,20	0,30	3,14	3,14	1,00		50,00
2.	Mantel	0,20	0,80	0,90	6,28	2,00		1,00	0,00
3.	Tutup bawah	0,70	0,60	0,30	3,14	3,14	1,00		100,00

**Matriks  $\epsilon_k A_k$ :**

k=	k= 1	2	3
1	2,20	0,00	0,00
2	0,00	1,26	0,00
3	0,00	0,00	2,20

**Faktor pandang:**

$F_{13} = 0,38$  Antara dua bidang paralel, bentuk permukaan lingkaran:

$$F_{13} = \frac{\pi A_1}{2} \left( 2r^2 + h^2 - h\sqrt{4r^2 + h^2} \right)$$

- $F_{31} = 0,38$  Aturan resiprok:  $(A_1/A_3) * F_{13}$
- $F_{12} = 0,62$  Aturan penjumlahan:  $F_{12} = 1 - F_{13}$
- $F_{21} = 0,31$  Aturan resiprok:  $F_{21} = (A_1/A_2) * F_{12}$
- $F_{23} = 0,31$  Aturan simetri:  $F_{23} = F_{21}$
- $F_{32} = 0,62$  Aturan simetri:  $F_{32} = F_{12}$
- $F_{22} = 0,38$  Aturan penjumlahan:  $F_{22} = 1 - F_{21} - F_{23}$
- $F_{11} = 0,00$  Permukaan bidang datar
- $F_{33} = 0,00$  Permukaan bidang datar

**Faktor kopling radiasi**

Matriks  $F_{kj}$

j=	k= 1	2	3
1	0,00	0,62	0,38
2	0,31	0,38	0,31
3	0,38	0,62	0,00

Matriks  $\epsilon_k A_k * F_{kj} = A$

j=	k= 1	2	3
1	0,00	1,36	0,84
2	0,39	0,48	0,39
3	0,84	1,36	0,00

Matriks [...]

j=	k= 1	2	3
1	1,00	-0,19	-0,11
2	-0,25	0,69	-0,25
3	-0,11	-0,19	1,00

Matriks [...]<sup>-1</sup>

j=	k= 1	2	3
1	1,11	0,35	0,22
2	0,47	1,69	0,47
3	0,22	0,35	1,11

Matriks  $A^* [...]^{-1}$

j=	k= 1	2	3
1	0,82	2,60	1,58
2	0,74	1,09	0,74
3	1,58	2,60	0,82

Matriks  $\epsilon_i$

i=	i= 1	2	3
1	0,70	0,00	0,00
2	0,00	0,20	0,00
3	0,00	0,00	0,70

Matriks  $R_{ki}$

i=	k= 1	2	3
1	0,58	0,52	1,10
2	0,52	0,22	0,52
3	1,10	0,52	0,58

**Temperatur**

Dengan memasukkan nilai2 berikut  $\theta_s = 45^0$ ;  $\cos\theta_s = 0,71$ ;  $\sin\theta_s = 0,71$  dan  $S = 1353 \text{ W/m}^2$ , serta  $\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  ke dalam persamaan kesetimbangan ( $dT_i/dt = 0$ ) diperoleh nilai

$\sigma T_{1w} = 0,00$ ;  $\sigma T_{2w} = 324,60$ ;  $\sigma T_{3w} = 478,36$  dengan satuan  $\text{W/m}^2$  serta  $R_{1w} = 0,63$ ;  $R_{2w} = 0,63$ ;  $R_{1w} = 0,63$  tanpa satuan.

Kembali ke tujuan untuk menghitung temperatur dinding melalui perkalian matriks berikut

$$[\sigma T^4] = [R]^{-1} [R.H.]$$

Menggunakan data di atas diperoleh:

$$\text{Matriks } [R] = \begin{pmatrix} 2,25 & -0,52 & -1,10 \\ -0,52 & 6,07 & -0,52 \\ -1,10 & -0,52 & 3,51 \end{pmatrix};$$

$$\text{Matriks } [R]^{-1} = \begin{pmatrix} 0,55 & 0,06 & 0,18 \\ 0,06 & 0,17 & 0,05 \\ 0,18 & 0,05 & 0,35 \end{pmatrix}$$

$$\text{Matriks } [R.H.] = \begin{pmatrix} 50,00 \\ 1722,09 \\ 1001,68 \end{pmatrix};$$

$$\text{matriks } [\sigma T^4] = \begin{pmatrix} 316,70 \\ 348,45 \\ 436,77 \end{pmatrix}$$

Dari matriks terakhir di atas dan dengan nilai  $\sigma = 5,7 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$  dapat dihitung temperatur  $T_1$ ,  $T_2$ , dan  $T_3$  yaitu

	Kelvin	Celsius
$T_1$	273,38	0,23
$T_2$	279,99	6,84
$T_3$	296,26	23,11

Dengan menggunakan teori transfer energi termal dan perhitungan serta batasan-batasan yang diterapkan diperoleh temperatur tutup atas, mantel, dan tutup bawah silinder, masing-masing  $0,23^\circ \text{ C}$ ,  $6,85^\circ \text{ C}$ , dan  $23^\circ \text{ C}$ . Harapan penulis, semua perhitungan ini dapat diujicobakan di laboratorium termal untuk validasi dan penelitian lebih lanjut.

#### 4 KESIMPULAN

Temperatur struktur satelit dapat diperkirakan melalui perhitungan dengan menggunakan teori transfer energi termal dengan memperhitungkan faktor pandang (*view factor*) dan faktor kopling radiasi. Jika diterapkan pada struktur satelit yang berbentuk silinder dan batasan-batasan yang diberikan diperoleh nilai temperatur bagian-bagian

silinder, yaitu tutup atas, mantel dan tutup bawah.

Struktur satelit yang berbentuk silinder tegak, berongga dan bertutup atas dan bawah cukup aman pada kondisi penyinaran matahari sebesar  $1353 \text{ W/m}^2$  dengan sudut jatuh  $45^\circ$ . dengan kondisi penyinaran ini nilai temperatur maksimum terjadi pada tutup bawah sebesar  $23,11^\circ \text{ C}$ . Nilai temperatur ini cukup aman bagi muatan-muatan yang berisi komponen elektronik.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Berlin, Peter, 2005. *Satelit Platform Design*, Departement of Space science, Unyversities of Lulea and Umea, Kiruna Sweden.
- Cengel, Y., 1998. *Heat Transfer: A Practical Approach*, McGraw-Hill, New York.
- Fortescue, Peter, 2005. *Spacecraft Systems Engineering*, John Wley & Sons Ltd. West Sussex, England.
- Larson, Wiley J., 2005. *Space Mission Analysis and Design*, Kluwer Academic Publisher, London.
- Sarafin, Thomas P., 1998. *Spacecraft Structure and Mechanisms*, Microcosm Press, Toorance, California.