

*Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan dan Penerapan MIPA,  
Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta, 14 Mei 2011*

## **DOUBLE GLAZING DESIGN UNTUK EFISIENSI ENERGI PADA ALAT RUMAH TANGGA**

**Dwi Lestari**

Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA  
Universitas Negeri Yogyakarta  
Email: [weestar91@yahoo.com](mailto:weestar91@yahoo.com)

### **Abstrak**

Di kehidupan sehari-hari, masyarakat tidak lepas dari penggunaan alat rumah tangga khususnya alat elektronik. Semakin maju teknologi, berbagai alat elektronik di desain sehingga memiliki kualitas terbaik. Pada makalah ini akan dibahas mengenai desain alat rumah tangga yakni oven listrik dengan *double glazing* untuk efisiensi energi panas yang mengalir (*heat transfer*). Model yang digunakan adalah model aliran panas, *Newton's law of cooling* dan *Fourier's law of heat conduction*. Dengan pemasangan kaca berlapis diharapkan mampu mengurangi tingkat kehilangan energi panas alat rumah tangga tersebut.

**Kata kunci:** *double glazing design, heat transfer*

### **PENDAHULUAN**

Berbagai macam alat rumah tangga digunakan masyarakat untuk memenuhi kebutuhannya. Penggunaan alat elektronik untuk keperluan rumah tangga meningkat pesat seiring majunya teknologi. Begitu pula produsen untuk alat elektronik berusaha membuat alat tersebut dengan kualitas terbaik. Alat elektronik yang akan dibahas disini adalah oven listrik. Oven merupakan alat rumah tangga yang digunakan untuk memanggang atau memanaskan makanan pada suhu tertentu. Cara kerja Oven listrik yaitu merubah tenaga listrik menjadi tenaga panas. Adapun bagian-bagian dari oven listrik berupa tungku gas oven bagian bawah listrik, tungku gas oven bagian atas listrik, alat pemutar panggangan, kaca oven, pematik otomatis dan lampu.

Salah satu bagian dari oven listrik adalah kaca oven. Berbagai jenis kaca tentu dapat dipilih sebagai penyusun oven. Namun disini pembahasan lebih pada desain pemasangan kaca berlapis pada oven. Hal ini berkaitan dengan energi panas yang dihasilkan oleh tenaga listrik. Berdasarkan kajian tentang pemasangan kaca berlapis pada jendela untuk efisiensi aliran panas, hal ini akan diterapkan pada oven listrik. Tujuan dari pemasangan kaca berlapis yakni untuk menghemat energi panas yang hilang sehingga dapat menghemat energi listrik.

Pemasangan kaca berlapis berkaitan dengan aliran panas melibatkan persamaan matematis berupa persamaan panas dalam kondisi setimbang, *Newton's law of cooling*, dan aliran panas (*heat flux*). Dengan pemasangan kaca berlapis diharapkan dapat mengurangi tingkat kehilangan energi panas pada oven listrik.

### **PEMBAHASAN**

#### **Model Matematis**

Masalah panas diawali dari suhu pada kedudukan awal kemudian menjadi lebih panas atau lebih dingin akibat perubahan suhu. Jika suhunya tidak sama, maka terjadi aliran panas dari suhu tinggi ke suhu lebih rendah. Menurut *Fourier's law of heat conduction*, diberikan aliran panas sebagai berikut

$$J(x) = -k \frac{dU(x)}{dx}, \quad (1)$$

dengan  $k$  konstanta konduksi.

Persamaan panas pada kondisi setimbang yakni

$$\frac{\partial^2 U}{\partial x^2} = 0. \quad (2)$$

Persamaan (2) merupakan persamaan diferensial orde dua dengan solusi sebagai berikut

$$U(x) = Ax + B, \quad (3)$$

A dan B konstanta.

Diberikan syarat batas saat  $x=0$ , yakni

$$U(0) = u_i, \quad (4)$$

dengan  $u_i$  suhu di dalam ruang yang besarnya dapat diatur, sedangkan saat  $x=l$

$$J(l) = h(U(l) - u_o), \quad (5)$$

$h$  merupakan koefisien transfer panas.

Menurut Fourier's law of heat conduction diperoleh

$$J(x) = -k \frac{dU(x)}{dx} = -kA, \quad (6)$$

dan saat  $x=l$

$$-kA = h(Al + B - u_o). \quad (7)$$

Pada saat  $x=0$ , diperoleh  $B=u_i$  sehingga Persamaan (7) menjadi

$$-\frac{k}{h} A = (Al + u_i - u_o), \quad (8)$$

diperoleh

$$A = \frac{-(u_i - u_o)}{l + \frac{k}{h}}. \quad (9)$$

Jadi solusi pada kondisi setimbangnya adalah

$$U(x) = u_i - \frac{(u_i - u_o)}{l + \frac{k}{h}} x, \quad (10)$$

dan Persamaan (1) menjadi

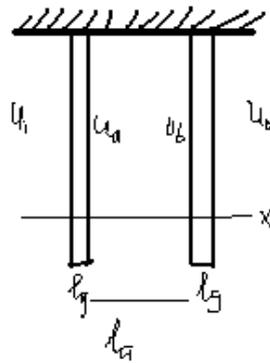
$$J(x) = \frac{(u_i - u_o)}{\frac{l}{k} + \frac{1}{h}} \quad (11)$$

dimana  $u_i > u_o$ .

### Efisiensi Energi

Perhitungan efisiensi energi pada model yang diterapkan untuk oven listrik menggunakan asumsi: jenis kaca standar, berlaku Newton's law of cooling dan Fourier's law of colling, model aliran panas satu arah/satu dimensi.

Misal  $u_i$  suhu di dalam ruang dan  $u_o$  suhu di luar ruang, dengan  $u_i > u_o$ . Selanjutnya,  $l_g$  ketebalan setiap lapisan kaca dan  $l_a$  lebar celah udara atau ruang antar lapisan kaca,  $u_a$  dan  $u_b$  suhu pada masing-masing sisi celah udara. Desain lapisan kaca dapat dilihat pada gambar berikut.



**Gambar 1. Desain kaca berlapis dua.**

Aliran panas  $J$  merupakan besarnya panas yang dipindahkan melalui sebuah unit area (per unit waktu) dari bidang yang tegak lurus dengan arah sumbu  $x$ . Pembahasan di sini lebih pada perilaku sistem pada kedudukan aliran panas setimbang, dimana  $J$  konstan. Aliran panas  $J$  diberikan dengan rumus seperti Persamaan (11), yakni

$$J = \frac{u_i - u_0}{R}, \quad (12)$$

dengan  $R=2R_g+R_a$ , total daya tahan panas.

Nilai  $R$  merupakan jumlah dari daya tahan panas yakni dua lapisan kaca  $R_g$  dan satu rongga udara  $R_a$ . Aliran panas pada kaca berlapis ganda perlu dibandingkan terhadap aliran panas pada kaca lapisan tunggal ( $l_a=0$ ), sehingga lapisan mempunyai ketebalan  $2l_g$ . Aliran panas pada lapisan tunggal, yakni

$$J_s = \frac{u_i - u_0}{2R_g}. \quad (13)$$

Selanjutnya, didefinisikan kehilangan panas relatif sebagai berikut

$$\Delta = \frac{J_s - J}{J_s} = \frac{R_a}{2R_g + R_a}. \quad (14)$$

Untuk kasus 1, jika diasumsikan suhu kaca hampir sama dengan suhu udara maka

$$\begin{aligned} R_g &= \frac{l_g}{k_g}, \\ R_a &= \frac{l_a}{k_a} \end{aligned} \quad (15)$$

dengan  $l_g$  : lebar satu lapisan kaca  
 $k_g$  : daya konduksi kaca  
 $l_a$  : jarak antara dua lapisan kaca / celah udara  
 $k_a$  : daya konduksi udara

dengan nilai pendekatan sesuai tabel berikut.

**Tabel 1. Daya konduksi panas menurut standar SI**

Jenis bahan	K (J/ms <sup>0</sup> C)	Jenis bahan	k(J/ms <sup>0</sup> C)
Tembaga	386	Batu bata	0,38 – 0,52
Aluminium	206	Asbes	0,113
Besi	73	Beton	0,128
Stainless steel	14	Kaca	0,81
Air (0 <sup>0</sup> C)	0,57	Kayu	0,15
Udara	0,05	Polystyrene	0,157

Berdasarkan tabel 1, nilai  $k_g = 0,81 \text{ J/ms}^0\text{C}$ ,  $k_a = 0,05 \text{ J/ms}^0\text{C}$ ,  $\frac{k_g}{k_a} \approx 16$  dan misalkan  $\frac{l_a}{l_g} = r$ , diperoleh

$$\Delta_1 = \frac{R_a}{2R_g + R_a} = \frac{r}{r + \frac{1}{8}} \quad (16)$$

Untuk nilai  $r = 1$ , penurunan hilangnya panas sebesar 88%,  $r = 4$  penurunan hilangnya panas sebesar 97% dan  $r = 8$  penurunan hilangnya panas tidak jauh berbeda dengan  $r = 4$  yakni sebesar 98%. Oleh karena itu dipilih nilai  $r = 4$  yang artinya jika  $l_a \approx 4l_g$  maka prosentase kehilangan panas dapat direduksi sebesar 97%.

Untuk kasus 2 dan 3 memperhatikan Newton's law of cooling. Oleh karena itu, daya tahan panas ditingkatkan oleh besarnya nilai  $\frac{1}{h}$  untuk setiap kontak kaca dengan udara, dengan  $h$  koefisien Newton cooling.

Kasus 2, Newton's law of cooling hanya pada kontak kaca dengan udara (kontak dengan celah udara diabaikan) sehingga

$$R_g = \frac{l_g}{k_g} + \frac{1}{h}, \quad \frac{k_g}{k_a} = 16, \quad \frac{l_a}{l_g} = r, \quad (17)$$

diperoleh

$$\Delta_2 = \frac{16r}{2\sigma + 16r + 2}, \quad \sigma = \frac{k_g}{hl_g} \quad (18)$$

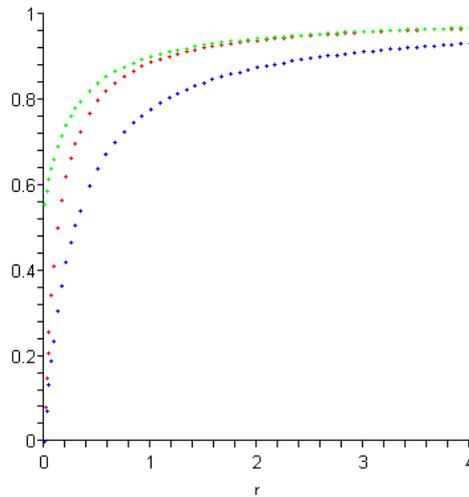
Kasus 3, Newton's law of cooling pada kontak kaca dengan celah udara dan dari celah udara ke kaca sehingga

$$R_a = \frac{l_a}{k_a} + \frac{2}{h}, \quad (19)$$

diperoleh

$$\Delta_3 = \frac{2\sigma + 16r}{2\sigma + 16r + 2}, \quad \sigma = \frac{k_g}{hl_g} \quad (20)$$

Misalnya diambil nilai  $h = 10\text{W/m}^2\text{ }^0\text{C}$  dan  $l_g = 4 \text{ mm} = 0,004\text{m}$ ,  $l_a = 16 \text{ mm} = 0,016\text{m}$ , efisiensi penurunan kehilangan panas disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Hubungan antara rasio  $r$  dan efisiensi hilangnya panas.**  
(merah:  $\Delta_1$ , biru:  $\Delta_2$ , hijau:  $\Delta_3$ )

Berdasarkan Gambar 2, dapat dilihat hubungan antara besarnya rasio lebar kaca dan lebar celah udara dengan efisiensi hilangnya panas. Semakin nilai  $r$  besar artinya celah udara semakin lebar terlihat efisiensinya meningkat.

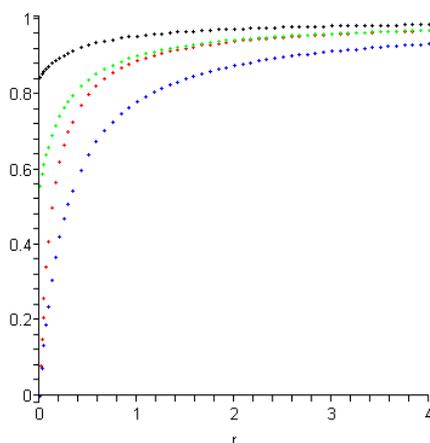
Untuk kasus 4, pemasangan kaca berlapis tiga dengan asumsi seperti kasus 3, diperoleh

$$\Delta_4 = \frac{R_g + 2R_a}{3R_g + 2R_a}, \quad \text{dengan } R_a = \frac{l_a}{k_a} + \frac{4}{h}, \quad (21)$$

sehingga

$$\Delta_4 = \frac{8\sigma + 32r + 1}{8\sigma + 32r + 3}.$$

Gambar untuk kasus 4 tampak sebagai berikut.



**Gambar 3. Hubungan antara rasio  $r$  dan efisiensi hilangnya panas.**  
(merah:  $\Delta_1$ , biru:  $\Delta_2$ , hijau:  $\Delta_3$ , hitam:  $\Delta_4$ )

Jadi, hasil perhitungan beberapa kasus di atas dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk

pemasangan kaca berlapis pada oven listrik. Namun demikian untuk memilih nilai  $r$  harus memperhatikan faktor-faktor lain juga seperti biaya produksi oven listrik dengan kaca berlapis.

### **KESIMPULAN**

Berbagai jenis alat elektronik untuk keperluan rumah tangga, salah satunya oven listrik. Desain oven listrik dengan kaca berlapis diharapkan dapat mengurangi tingkat energi panas yang hilang. Model yang dibahas menggunakan teori model aliran panas, *Newton's law of cooling* dan *Fourier's law of heat conduction*. Perhitungan efisiensi energi pada alat tersebut tentu saja dengan beberapa asumsi yang diperlukan. Untuk penelitian selanjutnya dapat diperhitungkan mengenai efisiensi biaya produksi untuk desain oven listrik dengan kaca berlapis (*double glazing*).

### **DAFTAR PUSTAKA**

Barnes, Belinda dan Glenn R Fulford, 2002, *Mathematical Modelling with Case Studies*, Taylor & Francis, London and New York.

Humi, Mayer dan William B Miller, 1992, *Boundary Value Problems and Partial Differential Equations*, Publishing company, Boston.

Ross, Shepley L., 1984, *Differential equations*. 3<sup>rd</sup>ed, JohnWiley and Sons, Inc, Singapore.

Yang, Yunhua, 2003, *Natural Convective Flow and Heat Transfer in Vertical and Inclined Glazing Cavities*, Thesis, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Massachusetts Amherst.

<http://electronicsfurnitureinfo.com/new/dapur-gas-kaca>.

### **Gambar**

#### **Kaca 2 lapis**



#### **Kaca 3 lapis**

