

## PERBANDINGAN *STACK EFFECT* PADA RUMAH SECARA KONVEKSI PAKSA DAN KONVEKSI ALAMI KETIKA KONDISI HUJAN

Eflita Yohana, Bayu Novariawan

Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro

Email: efnan2003@yahoo.com

### Abstract

A room or a house is modified by setting a stack (chimney) to take the advantage of the phenomenon of stack effect. This stack is useful for air circulation so that the room become comfortable. The difference of colour on the outside wall of the house will also affect the room temperature because the stored thermal energy in the house will be different. The darker house wall will keep more thermal energy than the brighter. Meanwhile, the house that uses exhaust fan will keep less thermal energy than a house that did not use any exhaust fan.

The high of required stack effect phenomenon can be calculated based on the stored thermal energy of the room. In the miniature house using exhaust fans, the chimneys or towers should be put at the 0.55-meter-high roof to a house without a paint, 0.35 meter for the white-painted house, 0.55 meter for the gray painted house, and 0.36 meter for the yellow-painted house. While for house miniature without exhaust fan (naturally), chimney should be placed to the 0.86-meter-high roof for the house without paint, 0.74 meter for the white-painted house, 0.85 meter for the gray painted house, and 0.75 meter for the yellow-painted house.

Keywords: Stack effect, the height of the stack.

### Abstrak

Sebuah ruangan atau rumah dimodifikasi dengan menambah sebuah *stack* (cerobong) untuk memanfaatkan fenomena *stack effect*. *Stack* ini berguna untuk mengalirkan udara dari dalam ruangan ke luar, sehingga panas yang di dalam ruangan dapat keluar dan ruangan dapat menjadi nyaman. Perbedaan warna pada dinding luar rumah juga dapat mempengaruhi temperatur di dalam ruangan karena energi panas yang tersimpan di dalam rumah akan berbeda. Rumah dengan dinding lebih gelap akan memiliki energi panas yang lebih tinggi dibandingkan rumah yang menggunakan dinding lebih cerah. Sedangkan rumah yang menggunakan *exhaust fan* akan menyimpan energi panas yang lebih kecil dibandingkan rumah yang tidak menggunakan *exhaust fan*.

Tinggi fenomena *stack effect* yang dibutuhkan dapat diperoleh dari hasil perhitungan energi panas yang tersimpan dalam ruangan. Pada miniatur rumah menggunakan *exhaust fan*, sebaiknya ditambah cerobong atau menara pada bagian atap setinggi 0,55 meter untuk rumah yang tanpa cat, 0,35 meter untuk rumah yang dicat warna putih, 0,55 meter untuk rumah yang dicat warna abu-abu, dan 0,36 meter untuk rumah yang dicat warna kuning. Sedangkan pada miniatur rumah tidak menggunakan *exhaust fan* (secara alami), sebaiknya ditambah cerobong atau menara pada bagian atap setinggi 0,86 meter untuk rumah yang tanpa cat, 0,74 meter untuk rumah yang dicat warna putih, 0,85 meter untuk rumah yang dicat warna abu-abu, dan 0,75 meter untuk rumah yang dicat warna kuning.

Kata kunci : *Stack effect*, tinggi *Stack*.

### 1. PENDAHULUAN

Penelitian-penelitian tentang pengaruh warna terhadap perpindahan panas telah

banyak dilakukan sebelumnya. (Uemoto, 2010) mengatakan bahwa perubahan warna (polos, putih, kuning dan coklat) mempengaruhi perpindahan panas pada atap, dan warna coklat

memiliki temperatur luar paling tinggi diantara warna-warna tersebut [2]. Pada eksperimen yang telah dilakukan dia menggunakan lampu sebagai sumber panas. Dan dari hasil eksperimen diketahui bahwa warna coklat memiliki temperatur permukaan tertinggi sebesar  $81,7^{\circ}\text{C}$  dibandingkan warna kuning sebesar  $69,8^{\circ}\text{C}$  dan warna putih sebesar  $57^{\circ}\text{C}$ .

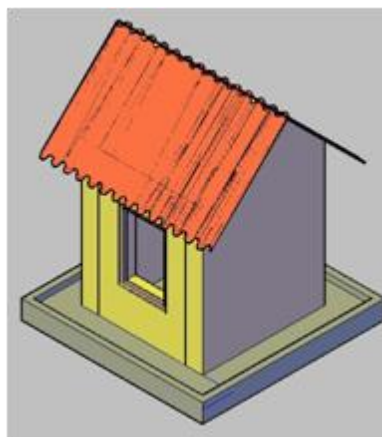
Peneliti lain yang juga mendukung pernyataan diatas mengenai pengaruh radiasi terhadap warna adalah (Cahyo, 2004) dengan judul pengujian pengaruh warna atap (asbes) terhadap panas radiasi ruangan menggunakan kotak terbuat triplek ukuran  $1,2 \times 1,2 \times 1,2 \text{ m}$  dengan warna polos, putih dan atap diganti menggunakan genteng [4]. Hasil penelitian ini menyebutkan bahwa dengan dicat warna putih menyebabkan penurunan temperatur berkisar antara  $1^{\circ}\text{C}$  sampai  $2,5^{\circ}\text{C}$ .

Dari penelitian-penelitian yang disebutkan diatas, penulis tertarik untuk mengembangkan eksperimen tentang pengaruh perubahan warna terhadap perpindahan panas pada dinding sebuah rumah dengan model menggunakan bata plester sistem *knockdown* dengan variasi warna polos, putih, abu-abu dan kuning. Warna yang dipilih merupakan warna mayoritas dan tren yang dipakai pada rumah di Indonesia belakangan ini. Seperti yang dikutip dari majalah *Housing estate* tren property [8]. Dalam prosesnya sinar matahari menyinari miniatur rumah, sehingga terjadi proses perpindahan panas secara radiasi terhadap permukaan dinding luar terlebih dahulu, kemudian terjadi perpindahan panas secara konduksi dari permukaan dinding dalam dan rumah dan terjadi proses konveksi paksa dengan adanya *exhaust fan* yang dipasang jendela.

## 2. MODEL MINIATUR RUMAH

Model bangunan model rumah yang diteliti berukuran  $1 \times 1 \times 1,2 \text{ m}$ . Dinding rumah terbuat dari batu bata yang diplester dan atapnya menggunakan sistem onduline, serta lantai menggunakan keramik. Untuk membantu pendinginan ruangan dalam rumah menggunakan alat exhaust fan yang diletakkan pada ventilasi berukuran  $20 \times 15 \text{ cm}$ . Pengecatan rumah dilakukan pada dinding luar rumah saja dan dilakukan secara bertahap

setelah pengujian satu warna selesai dan dilanjutkan warna cat lainnya secara berurutan mulai dari polos tanpa warna, warna putih, warna abu-abu dan warna kuning. Diharapkan pengujian ini dapat menjadi referensi atau acuan dalam memberikan gambaran mengenai perpindahan panas pada rumah dalam ukuran sebenarnya.



Gambar 1 Model Miniatur Rumah

## 3. PERPINDAHAN PANAS SECARA KONVEKSI

Perpindahan kalor secara aliran atau konveksi adalah perpindahan kalor yang dilakukan oleh molekul-molekul suatu fluida (cair atau gas). Molekul-molekul fluida tersebut dalam gerakannya melayang kesana-kemari membawa sejumlah kalor. Konveksi adalah perpindahan panas melalui media gas atau cairan seperti udara di dalam es dan air yang dipanaskan di dalam ceret.

Perpindahan panas secara konveksi dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu: konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). laju perpindahan panas secara konveksi antara suatu fluida dapat dinyatakan dalam hubungan [7]:

$$q_c = h_c A (T_w - T_{\infty})$$

dimana:

$q_c$  = Laju perpindahan kalor konveksi (watt)

$A$  = Luas permukaan ( $\text{m}^2$ )

$h_c$  = koefisien perpindahan panas secara konveksi ( $\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ )

$T_w$  = Temperatur dinding ( $^{\circ}\text{C}$ )

$T_{\infty}$  = Temperatur lingkungan/ruangan ( $^{\circ}\text{C}$ )

Untuk nilai  $h_c$  sangat bergantung pada geometri permukaan dan kecepatan maupun sifat fisik fluidanya dan juga pada beda temperatur.

### 3.1. Konveksi Alami

Persamaan yang digunakan untuk mencari koefisien perpindahan panas konveksi secara alami menggunakan persamaan berikut:

Nusselt Number [7]

$$Nu_x = \frac{h_c L}{k}$$

dimana:

$Nu_x$  = Nusselt Number

$L$  = Panjang permukaan (m)

$k$  = konduktivitas termal ( $\text{Watt/m}^{\circ}\text{C}$ )

$h_c$  = Perpindahan Kalor Konveksi ( $\text{watt}^{\circ}\text{C}$ )

### 3.2. Konveksi Paksa

Persamaan yang digunakan untuk mencari koefisien perpindahan kalor konveksi secara paksa menggunakan persamaan berikut [9]:

Reynold Number

$$Re = \left( \frac{\rho L U_0}{\mu} \right)$$

dimana:

$Re$  = Reynold Number

$\rho$  = Massa jenis fluida ( $\text{Kg/m}^3$ )

$U_0$  = Kecepatan aliran (m/s)

$L$  = Panjang Permukaan (m)

$\mu$  = Viskositas absolute fluida ( $\text{Kg/m.s}$ )

Prandtl Number

$$Pr = \mu \frac{C}{K}$$

dimana:

$K$  = Konduktivitas termal

$C$  = Panas spesifik udara

Nusselt number

$$Nu = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 Ra_L^{1/6}}{\left[ 1 + (0,492/Pr)^{9/16} \right]^{8/27}} \right\}^2$$

dimana:

$Re$  = Reynold number

$Pr$  = Prandtl number

## 4. PANAS YANG TERSIMPAN DI DALAM RUANGAN

Dalam beberapa aplikasi tentang keseimbangan energi pertama-tama kita butuh mengidentifikasi tentang kontrol volume. Yang mana energi yang masuk dikurangi dengan energi yang keluar akan sama dengan energi yang tersimpan dalam kontrol volume.

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st}$$

dimana:

$E_{in}$  = Energi yang masuk sistem (watt)

$E_g$  = Energi yang dibangkitkan dalam sistem (watt)

$E_{out}$  = Energi yang keluar sistem (watt)

$E_{st}$  = Energi yang tersimpan (watt)

Karena  $E_g$  diasumsikan diabaikan dan terjadi kenaikan temperatur tiap jamnya, maka dari persamaan diatas didapatkan :

$$E_{in} + E_g - E_{out} = E_{st}$$

$$E_{in} - E_{out} = E_{st}$$

$$Q_{in} - Q_{out} = \Delta E_s$$

dimana:

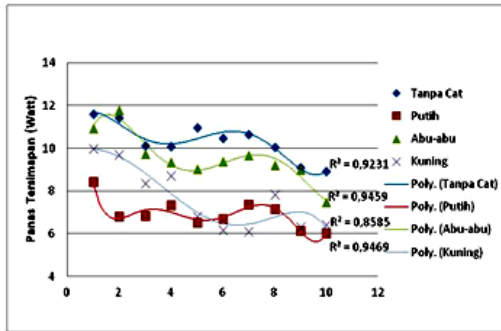
$Q_{in}$  = panas yang masuk (watt)

$Q_{out}$  = panas yang keluar (watt)

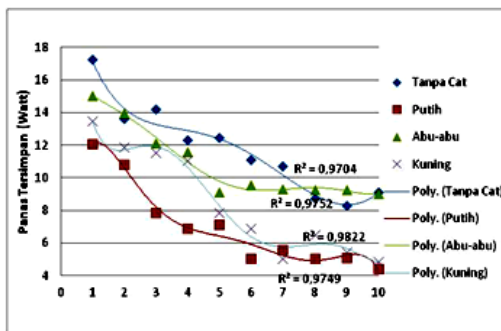
Setelah dihitung menggunakan ms. Excel, akan di dapatkan besarnya energi panas yang tersimpan di dalam ruangan.

Berdasarkan hasil perhitungan (lihat gambar 2 dan gambar 3), besarnya panas yang tersimpan di dalam rumah setiap kondisi berbeda-beda. Rumah yang tidak menggunakan *exhaust fan* mempunyai panas yang lebih tinggi dibandingkan dengan rumah

yang menggunakan *exhaust fan*.



**Gambar 2** Grafik Hasil perhitungan panas tersimpan terhadap waktu menggunakan *exhaust fan*.



**Gambar 3** Grafik Hasil perhitungan panas tersimpan terhadap waktu tanpa menggunakan *exhaust fan*.

Dari gambar diatas, rumah yang tanpa cat (tanpa warna) mempunyai panas yang tersimpan di dalam ruangan paling tinggi dibandingkan dengan yang lainnya dengan trendline  $R^2 = 0,9231$  untuk menggunakan *exhaust fan* dan  $R^2 = 0,9704$  untuk tanpa *exhaust fan*. Pada grafik tanpa warna mengalami naik turun dari trend line seharusnya dikarenakan faktor dari alam seperti adanya angin yang melintas dengan kecepatan berbeda atau banyaknya air hujan (debit air) yang berbeda sehingga menyebabkan data seharusnya bisa turun tetapi kenyataannya naik.

## 5. STACK EFFECT

Ada perbedaan tekanan antara udara luar dan udara di dalam gedung yang disebabkan oleh perbedaan suhu antara udara luar dan udara di dalam. Perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ) adalah kekuatan pendorong untuk efek stack dan dapat dihitung dengan persamaan disajikan di bawah ini [20] :

$$\Delta P = c \times a \times h \left( \frac{1}{T_0} - \frac{1}{T_i} \right)$$

Dimana :

$\Delta P$  = available pressure difference, in Pa

$C$  = 0.0342

$a$  = atmospheric pressure, in Pa

$h$  = height or distance, in m

$T_0$  = absolute outside temperature, in K

$T_i$  = absolute inside temperature, in K

Perbedaan tekanan dapat menyebabkan aliran udara dari dalam ruangan keluar ruangan. Besarnya debit yang disebabkan oleh *stack effect* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan seperti dibawah ini [20] :

$$\Delta Q = C \times A \times \sqrt{2 \times g \times h \times \frac{T_i - T_0}{T_i}}$$

Dimana:

$Q$  = stack effect draft/debit aliran udara,  $m^3/s$

$A$  = Luas area Stack,  $m^2$

$C$  = discharge coefficient (usually taken to be from 0.65 to 0.70)

$g$  = percepatan gravitasi,  $9.81 m/s^2$

$h$  = tinggi stack effect, m

$T_i$  = Temperatur di dalam, K

$T_0$  = Temperatur keluar, K

Dari persamaan diatas tinggi stack dapat dicari dan sehingga didapatkan :

**Tabel 1** Tinggi Stack pada rumah menggunakan *exhaust fan*

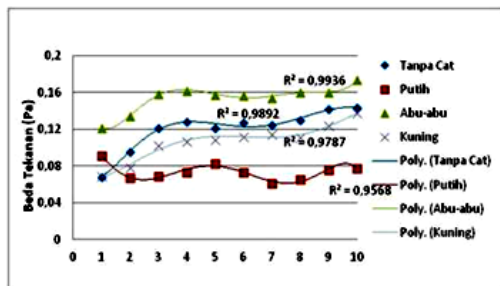
| MENGGUNAKAN FAN |       |           |       |         |        |
|-----------------|-------|-----------|-------|---------|--------|
| NO              | JAM   | Tanpa Cat | Putih | Abu-abu | Kuning |
| 1               | 19.30 | 1,55      | 1,35  | 1,55    | 1,36   |
| 2               | 19.45 | 1,49      | 1,27  | 1,42    | 1,29   |
| 3               | 20.00 | 1,42      | 1,23  | 1,31    | 1,26   |
| 4               | 20.15 | 1,37      | 1,21  | 1,31    | 1,25   |
| 5               | 20.30 | 1,37      | 1,21  | 1,31    | 1,25   |
| 6               | 20.45 | 1,36      | 1,21  | 1,31    | 1,25   |
| 7               | 21.00 | 1,37      | 1,21  | 1,31    | 1,25   |
| 8               | 21.15 | 1,37      | 1,21  | 1,30    | 1,24   |
| 9               | 21.30 | 1,33      | 1,20  | 1,29    | 1,24   |
| 10              | 21.45 | 1,34      | 1,20  | 1,29    | 1,23   |
| h max           |       | 1,55      | 1,35  | 1,55    | 1,36   |

**Tabel 2** Tinggi Stack pada rumah tanpa menggunakan *exhaust fan*

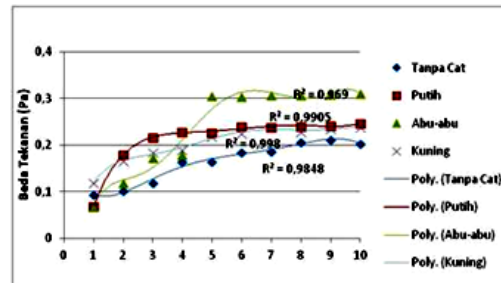
| TANPA FAN |       |           |       |         |        |
|-----------|-------|-----------|-------|---------|--------|
| NO        | JAM   | Tanpa Cat | Putih | Abu-abu | Kuning |
| 1         | 19.30 | 1,86      | 1,74  | 1,85    | 1,75   |
| 2         | 19.45 | 1,72      | 1,67  | 1,70    | 1,69   |
| 3         | 20.00 | 1,67      | 1,61  | 1,68    | 1,60   |
| 4         | 20.15 | 1,71      | 1,58  | 1,69    | 1,61   |
| 5         | 20.30 | 1,70      | 1,58  | 1,66    | 1,60   |
| 6         | 20.45 | 1,70      | 1,58  | 1,66    | 1,60   |
| 7         | 21.00 | 1,70      | 1,58  | 1,65    | 1,60   |
| 8         | 21.15 | 1,70      | 1,58  | 1,65    | 1,60   |
| 9         | 21.30 | 1,70      | 1,57  | 1,65    | 1,60   |
| 10        | 21.45 | 1,70      | 1,57  | 1,65    | 1,60   |
| h max     |       | 1,86      | 1,74  | 1,85    | 1,75   |

Dari tabel diatas, dapat dilihat bahwa kebutuhan tinggi stack setiap waktu berbeda karena dipengaruhi oleh temperatur di luar lingkungan. Maka untuk mendapatkan tinggi stack yang baik, kita ambil tinggi maksimal yang dibutuhkan.

Pada ketinggian stack yang sama, besarnya beda tekanan dipengaruhi oleh beda temperatur antara dalam rumah dan lingkungan luar rumah. Semakin besar beda temperatur, maka beda tekanan yang dihasilkan *stack effect* pun semakin besar.

**Gambar 4** Grafik Perbedaan tekanan yang

disebabkan *effect Stack* terhadap waktu menggunakan *exhaust fan*

**Gambar 5** Grafik Perbedaan tekanan yang disebabkan *effect Stack* terhadap waktu tanpa menggunakan *exhaust fan*

## 6. PEMBAHASAN

Dari hasil penelitian diatas, panas yang tersimpan di dalam ruangan akan lebih besar dengan dinding bagian luar menggunakan cat warna gelap dibandingkan dengan rumah yang dinding bagian luarnya menggunakan cat warna terang. Dari (ref. Hal 29 tabel 1.6 Absorpsi radiasi matahari permukaan dinding, Prasasto Satwiko) nilai emisivitas atau absorpsi panas warna gelap lebih besar dibandingkan dengan warna terang sehingga warna gelap cenderung menangkap atau menyimpan panas sedangkan warna terang cenderung memiliki sifat memantulkan panas.

Dengan warna yang sama, tanpa menggunakan fan membutuhkan *stack* yang lebih tinggi karena perpindahan udara dari dalam ruangan keluar secara alami dan hanya mengandalkan beda temperatur antara di dalam rumah dan di luar rumah. Sedangkan rumah yang menggunakan *exhaust fan*, membutuhkan *stack* yang lebih rendah karena di perpindahan udara dalam rumah ke lingkungan luar dibantu oleh *exhaust fan*. Selain itu, rumah yang di cat berwarna gelap membutuhkan *stack* yang lebih tinggi dibandingkan dengan rumah yang dicat dengan warna terang (putih dan kuning). Hal ini dikarenakan energi panas yang ada pada dalam rumah yang berdinding gelap (abu-abu dan tanpa cat) lebih besar dari pada rumah yang berdinding terang (putih dan kuning).

Dari hasil penelitian diatas, beda tekanan maksimal dan beda tekanan rata-rata antara rumah yang menggunakan *exhaust fan*

dan rumah secara alami setiap warna berbeda. Rumah secara alami mempunyai beda tekanan yang lebih tinggi dibandingkan dengan rumah yang menggunakan *exhaust fan*, hal ini terjadi karena tekanan rumah yang menggunakan *exhaust fan* lebih rendah dibandingkan dengan rumah secara alami. Fan mempengaruhi tekanan di dalam rumah karena rumah ini hanya mempunyai satu bukaan untuk *exhaust fan*, bukaan ini berfungsi untuk mengeluarkan udara yang ada didalam ruangan sehingga tekanan rumah yang menggunakan *exhaust fan* lebih rendah dari pada rumah secara alami.

## 7. KESIMPULAN

Panas yang tersimpan di dalam ruangan akan lebih besar dengan dinding bagian luar menggunakan cat warna gelap dibandingkan dengan rumah yang dinding bagian luarnya menggunakan cat warna terang. Nilai rata-rata panas yang tersimpan pada rumah menggunakan *exhaust fan* dengan tanpa cat 10,34 Watt, warna cat putih 6,93 watt, warna cat abu-abu 9,56 watt dan warna cat kuning 7,63 watt. Sedangkan panas yang tersimpan pada rumah tanpa menggunakan *exhaust fan* (secara alami) dengan tanpa cat sebesar 11,79 watt, cat putih 7,00 watt, cat abu-abu 10,83 watt dan warna cat kuning 8,46 watt.

Rumah yang tidak menggunakan *exhaust fan* (secara alami) membutuhkan cerobong stack lebih tinggi dibandingkan yang menggunakan *exhaust fan*. Pada miniatur rumah menggunakan *exhaust fan*, sebaiknya ditambah cerobong atau menara pada bagian atap setinggi 0,55 meter untuk rumah yang tidak di cat (tanpa warna), 0,35 meter untuk rumah yang dicat warna putih, 0,55 meter untuk rumah yang dicat warna abu-abu, dan 0,36 meter untuk rumah yang dicat warna kuning. Sedangkan pada miniatur rumah tidak menggunakan *exhaust fan* (secara alami), sebaiknya ditambah cerobong atau menara pada bagian atap setinggi 0,86 meter untuk rumah yang tidak di cat (tanpa warna), 0,74 meter untuk rumah yang dicat warna putih, 0,85 meter untuk rumah yang dicat warna abu-abu, dan 0,75 meter untuk rumah yang dicat warna kuning.

Rumah yang menggunakan *exhaust fan* akan mempunyai panas yang tersimpan di

dalam ruangan lebih rendah dibandingkan dengan yang tanpa *exhaust fan* (secara alami), sehingga rumah yang menggunakan *exhaust fan* akan membutuhkan cerobong (stack) lebih rendah dibandingkan dengan rumah yang secara alami.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tri Endangsih. (2007). *"Penerapan Hemat Energi Pada Bangunan"*. Universitas Budi Luhur".
- [2] Kai L. Uemoto, Neide M.N. Sato, Vanderley M. John. (2010). *"Estimating Thermal Performance of Cool Colored Paints"*.  
<http://www.elsevier.com/locate/enbuild>
- [3] Synnefa Afroditi (2010), Karlessi Theoni, Gaitani Niki, Santamouris Mat. (2010). *Measurement of Optical Properties and Thermal Performance of Coloured Thin Layer Asphalt Samples and Evaluation of Their Impact on The Urban Environment*.
- [4] Cahyo Arif Purwaning. (2010). *"Pengujian Pengaruh Warna Atap (Asbes) Terhadap Panas Radiasi Ruangan"*. Universitas Diponegoro.
- [5] Yani A, Suhardiyanto H, Hasbullah R, Purwanto B.P. (2007). *Analisis dan Simulasi Distribusi Suhu Udara pada Kandang Sapi Perah Menggunakan Computational Fluid Dynamics (CFD)"*.
- [6] Incropera, FP and Witt, P. (1981). *Fundamental of Heat Transfer*, John Wiley and Sons, New York,.
- [7] Holman, J.P., (1963). *Heat Transfer*, McGraw-Hill Books Company, New York.
- [8] <http://www.housing-estate.com>
- [9] Arang Vikas Padang, *"Heat transfer Analysis In Steel Structures"*, Worcester Polytechnic Institute.
- [10] Kreith, Frank, (1991). *"Prinsip-Prinsip Perindahan Panas"*, Edisi ketiga, PT. Erlangga, Jakarta.
- [11] Prasasto Satwiko. (2004). *"Fisika Bangunan 1"*, Edisi 1. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [12] Prasasto Satwiko. (2004). *"Fisika Bangunan 2"*, Edisi 1. Penerbit Andi, Yogyakarta.

- [13] Arismunandar Wiranto dan Saito Heizo, (2002), "*Penyegaran Udara*", Edisi keenam, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- [14] <http://bintangutamapersada.blogspot.com>, "*Onduline-Atap Ringan Rumah yang Dibentuk*".
- [15] Koestoer, Radi Artono. (2004). "Pengukuran Teknik". Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Univ. Indonesia. Jakarta.
- [16] Manual Krisbow
- [17] Table Emmisivity
- [18] Cengel, 2003. "*Heat Transfer*". 1st edition.
- [19] [www.wbdg.org/designnaturalventilation.php](http://www.wbdg.org/designnaturalventilation.php)
- [20] [www.wikipedia.org/Stack Effect](http://www.wikipedia.org/Stack Effect)