
KAJI EKSPERIMENTAL LUAS VENTILASI RUMAH MODEL DENGAN MEKANISME PERPINDAHAN KALOR KONVEKSI ALAMI AKIBAT RADIASI MATAHARI MENGGUNAKAN VARIASI WARNA CAT PUTIH, ABU-ABU, KUNING DAN TANPA CAT

Eflita Yohana dan Ganang Wisma

Teknik Mesin, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. H. Sudarto,SH. ,Tembalang-Semarang, Jawa Tengah, Indonesia

e-mail : efnan2003@yahoo.com

Abstrak

Penggunaan warna cat yang berbeda pada dinding luar rumah mempengaruhi kalor yang tersimpan di dalam ruangan dan mempengaruhi ventilasi yang digunakan. Dalam eksperimen ini menggunakan sebuah rumah model dengan dinding plester dengan ukuran $1 \times 1 \times 1,7 \text{ m}^3$, dan variasi warna cat yang digunakan adalah warna putih, abu-abu, kuning, dan tanpa cat. Kalor yang tersimpan di dalam ruangan akibat radiasi matahari dapat ditentukan dengan mekanisme perpindahan kalor konveksi alami yang mengakibatkan kenaikan temperatur, dan penurunan kelembaban relatif ruang. Kalor yang tersimpan dapat dibuang oleh udara melalui ventilasi alami. Hasil eksperimen menunjukkan hubungan antara kalor dalam ruangan akibat variasi warna yang digunakan dengan ukuran ventilasi keluar untuk membuang kalor agar kondisi ruangan tetap nyaman. Kalor yang tersimpan dalam ruangan tertinggi pada warna abu-abu sebesar 258,10 W, tanpa cat 245,45 W, putih 218,80, dan kuning 225,67 W. Dari hasil perhitungan juga menunjukkan penggunaan warna gelap pada dinding menuntut kebutuhan ukuran ventilasi yang lebih besar dibanding warna terang yaitu variasi tanpa cat sebesar $0,163 \text{ m}^2$, warna abu-abu sebesar $0,211 \text{ m}^2$, warna putih sebesar $0,0936 \text{ m}^2$, dan warna kuning sebesar $0,0985 \text{ m}^2$.

Kata kunci: warna cat; perpindahan kalor; temperatur; ventilasi; kalor yang tersimpan.

1. PENDAHULUAN

Kenyamanan bangunan erat hubungannya dengan kondisi alam atau lingkungan di sekitarnya dan upaya atau pengaturan ruang dalam pengkondisian bangunan. Permasalahan yang dihadapi dalam penerapan aspek kenyamanan bangunan tergantung pada obyek bangunan yang dihadapi. Untuk bangunan yang menghendaki kualitas hunian yang sempurna, persyaratan tersebut harus diadopsi dan diterapkan. Menurut ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*) batas kenyamanan suhu efektif sekitar $23\text{-}27^\circ\text{C}$ dan *relative humidity* tempat tinggal sekitar 50-60 % [1], sedangkan temperatur udara di Indonesia pada umumnya tinggi yaitu antara $24\text{-}34^\circ\text{C}$, dengan kelembaban udara juga tinggi yaitu antara 60-90%, disebabkan oleh radiasi matahari yang tinggi.

Selain parameter-parameter di atas, kenyamanan bangunan juga terkait dengan variasi warna yang digunakan pada bangunan. Tren warna saat ini lebih mengutamakan aspek keindahan tanpa mengerti akibat yang ditimbulkan oleh efek perpindahan kalor di dalam bangunan. Warna-warna yang dipilih seringkali bersifat ekstrim sesuai keinginan pemilik. Di lain sisi, perpindahan kalor akibat pancaran sinar matahari (radiasi, konveksi serta konduksi) berlangsung terus-menerus sehingga kalor masuk ke dalam bangunan dan menyebabkan kenaikan temperatur. Besarnya nilai kalor pada variasi warna tentu berbeda-beda. Hal ini kemudian ditindaklanjuti lebih jauh pada penelitian ini dengan menggunakan sebuah rumah model secara eksperimental. Warna yang dipilih merupakan kebanyakan yang dipakai rumah masa kini di Indonesia, seperti yang dikutip oleh majalah *housing estate* tren property [8]. Agar kondisi rumah tetap nyaman tanpa diperlukan penambahan alat mekanis, maka perlu direncanakan sistem ventilasi alami pada rumah model dalam hubungannya dengan kalor yang tersimpan akibat variasi warna cat dinding. Penggunaan ventilasi alami ini telah menjadi metode efektif untuk mengurangi penggunaan energi dan biaya untuk menyediakan ruangan yang sehat dan nyaman. Penelitian ini diharapkan dapat menjelaskan antara hubungan pemakaian variasi warna cat dinding pada rumah model terhadap kebutuhan luas ventilasi alami sehingga kondisi rumah tetap nyaman tanpa diperlukan penambahan alat mekanis yang dilakukan secara eksperimental.

Penelitian-penelitian tersebut telah banyak dilakukan sebelumnya. (Uemoto, 2010) mengatakan bahwa perubahan warna (polos, putih, kuning dan coklat) mempengaruhi perpindahan kalor pada atap, dan warna coklat memiliki temperatur luar paling tinggi diantara warna-warna tersebut [2]. Dia menggunakan lampu sebagai sumber kalor, 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°C .

Di lain pihak (Synnefa, 2010) berpendapat bahwa perubahan warna mempengaruhi temperatur permukaan jalan aspal. Dimana jalan aspal yang berwarna hitam dibandingkan dengan aspal berwarna lain (hijau, merah, kuning, abu-abu coklat dan putih) menggunakan simulasi program CFD (*Computational Fluent Dynamic*) [3], diperoleh temperatur permukaan jalan aspal warna hitam paling tinggi yakni sebesar $59,9^{\circ}\text{C}$ dan warna putih dengan temperatur permukaan aspal paling rendah sebesar 48°C . Hasil penelitian ini mendukung pernyataan Uemoto, dimana permukaan dinding yang dicat dengan warna gelap lebih tinggi temperaturnya dibandingkan dengan permukaan yang berwarna lebih terang.

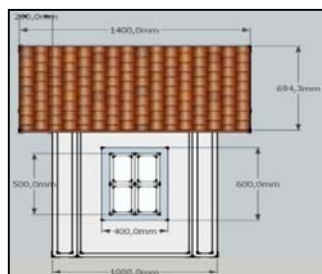
Peneliti lain yang juga mendukung pernyataan diatas mengenai pengaruh radiasi terhadap warna adalah (Cahyo, 2004) dengan judul pengujian pengaruh warna atap (asbes) terhadap kalor radiasi ruangan menggunakan kotak terbuat dari triplek ukuran $1,2 \times 1,2 \times 1,2$ m dengan warna tanpa cat, putih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

Eksperimen yang pernah dilakukan (Yani, 2007) dengan judul Analisis dan Simulasi Distribusi Suhu Udara pada Kandang Sapi Perah menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD) [5]. Salah satu upaya untuk menurunkan suhu dan kelembaban udara di dalam kandang sapi yaitu dengan ventilasi agar terjadi pertukaran udara di dalam dan luar kandang dengan baik sehingga kalor dalam kandang dapat diminimalisir. Luas bukaan ventilasi sangat mempengaruhi pola aliran dan distribusi udara dalam kandang, sehingga diperoleh distribusi suhu dalam kandang yang lebih rendah dari kondisi awal. Dalam hasil penelitiannya didapatkan distribusi kalor yang merata pada ukuran kandang sapi $13 \times 6,3 \times 5,75$ m.

Tujuan penelitian ini adalah: 1) Menentukan besarnya kalor yang tersimpan di dalam ruangan rumah model akibat radiasi matahari dengan variasi warna pada dinding luar rumah model; 2) Membandingkan temperatur dinding dan temperatur ruangan akibat radiasi matahari dengan variasi warna dinding luar rumah model; 3) Menentukan luas ukuran ventilasi alami keluaran untuk variasi warna dinding luar berdasarkan kalor yang harus dibuang.

2. MATERI DAN METODE

Penelitian dilaksanakan pada bulan April sampai Juni 2010 berlokasi di halaman laboratorium *Thermofluid* Teknik Mesin, Undip. Bahan yang digunakan adalah sebuah rumah model berukuran $1 \times 1 \times 1,7$ m³ dengan sistem *knockdown* dengan dinding bata plester dan menggunakan atap *onduline*. Warna yang digunakan adalah warna putih, abu-abu, kuning dan tanpa cat. Peralatan yang digunakan meliputi *hygrometer*, *luxmeter*, *anemometer*, termokopel, *interface* dan komputer. Waktu pengambilan data dilakukan pada pukul 07.30 WIB sampai 14.00 WIB dengan selang satu jam kecuali pukul 07.30 menuju 08.00 WIB.



Gambar 1. Desain rumah model



Gambar 2. Rumah model tanpa cat



Gambar 3. Rumah model warna putih Gambar 4. Rumah model warna kuning



Gambar 5. Rumah model warna abu-abu

Koefisien Konveksi pada Rumah Model

Kalor akibat radiasi matahari ditentukan melalui mekanisme perpindahan kalor konveksi alami. Koefisien pindah kalor konveksi dari material penyusun rumah model merupakan sifat termal bahan yang diperlukan untuk menentukan besarnya kalor yang terjadi.

Koefisien pindah kalor konveksi pada dinding[6]:

$$h_c = \frac{N_u k}{L} \quad (1)$$

$$N_u = \left[0,825 + \frac{0,587Ra_L^{1/6}}{\left[1 + \left(0,492/Pr \right)^{4/9} \right]^{2/5}} \right]^2 \quad (2)$$

h_c adalah koefisien pindah kalor konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), k adalah konduktivitas kalor bahan ($W/m \cdot ^\circ C$), L adalah panjang karakteristik (m), N_u adalah bilangan *Nusselt*, Pr adalah bilangan *Prandtl*, Ra adalah bilangan *Rayleigh*.

$$R_a = G_r Pr = \frac{g \beta (T_w - T_r) L^3}{\nu^2} \quad (3)$$

β adalah koefisien ekspansi dari volume gas ideal ($1/K$), ν adalah viskositas kinematik udara (m^2/det), g adalah gaya gravitasi (m/det^2), G_r adalah bilangan *Grasshoff*, T_w adalah temperatur permukaan dinding ($^\circ C$), T_r adalah temperatur ruang ($^\circ C$). Bilangan *Grasshoff* untuk atap rumah model dengan kemiringan tertentu dirumuskan sebagai berikut[13]:

$$R_a = G_r Pr = \frac{g \beta \sin \theta (T_w - T_r) L^3}{\nu^2} \quad (4)$$

θ adalah kemiringan atap. Persamaan konveksi alami secara umum:

$$q_c = h_c A (T_w - T_r) \quad (5)$$

q_c adalah besarnya kalor yang masuk dari tiap-tiap dinding dan atap (W), A adalah luas dinding (m^2), h_c adalah koefisien pindah kalor konveksi, T_w adalah temperatur dinding ($^\circ C$), T_r adalah temperatur ruang ($^\circ C$).

Kecepatan Standar Ruangan

Kecepatan standar ruangan merupakan aliran udara yang dibutuhkan untuk mempertahankan temperatur ruang atau untuk memindahkan kalor agar kondisi rumah model tetap dalam kondisi nyaman. Kecepatan standar ruangan dapat dirumuskan[11]:

$$Q = \frac{VN}{3600} \quad (6)$$

Dimana N adalah pergantian udara ruang per jam:

$$N = \frac{H}{0,33 V (t_o - t_i)} \quad (7)$$

H adalah kalor yang tersimpan dalam ruangan (W), V adalah volume ruang (m^3), t_o adalah temperatur lingkungan ($^{\circ}C$), t_i adalah temperatur ruang yang diinginkan ($^{\circ}C$). Maka kecepatan standar ruangan dapat dirumuskan:

$$v = \frac{Q}{A_o} \quad (8)$$

Dimana v adalah kecepatan udara standar ruangan (m/det), Q adalah udara yang dipindahkan (m^3 /det), A_o adalah luas ventilasi aktual (m^2).

Besarnya kalor yang dipindahkan

Melalui data kecepatan standar ruangan dan kecepatan udara terukur, untuk mempertahankan temperatur ruangan pada kondisi nyaman maka kalor yang harus dibuang melalui ventilasi:

$$H = N \times 0,33V \times (t_o - t_i)$$

Dimana N adalah pergantian udara ruang per jam;

$$N = \frac{3600 Q}{V}$$

Dimana Q adalah udara yang dipindahkan (m^3 /det)

$$Q = \frac{v}{A_o}$$

A_o adalah luas ventilasi aktual (m^2), v adalah selisih kecepatan udara standar dengan kecepatan udara terukur (m/det).

Luas ventilasi keluar berdasarkan kalor dipindahkan

Besarnya penambahan luas ventilasi keluar untuk membuang kalor akibat perubahan warna cat agar ruangan tetap nyaman:

$$A_i = \frac{Q}{v}$$

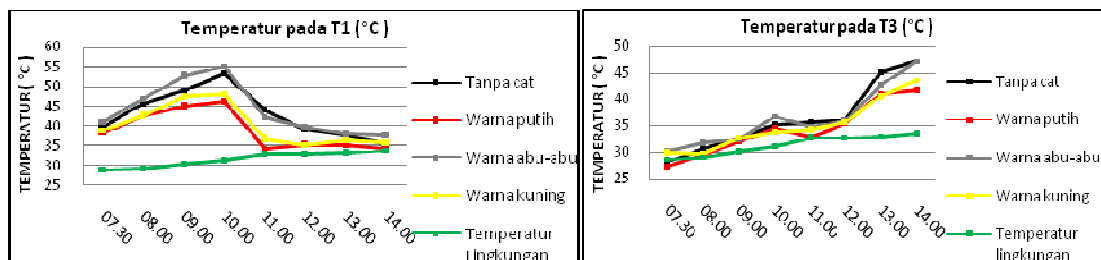
Dimana A_i adalah besarnya penambahan luas ventilasi keluar (m^2), Q adalah udara yang dipindahkan (m^3 /det), dan v adalah kecepatan udara terukur.

Luas ventilasi keluar berdasarkan kalor yang harus dibuang:

$$A = A_o + A_i$$

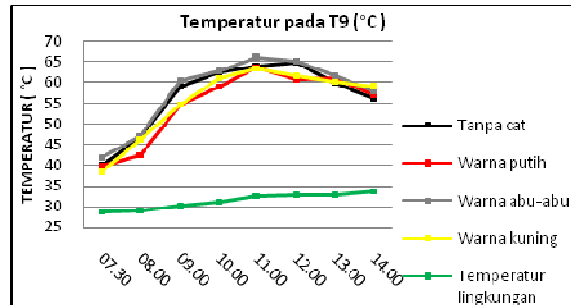
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil eksperimen pada rumah model menunjukkan besarnya pengaruh variasi warna cat pada dinding terhadap kalor yang tersimpan di dalam ruangan. Efek radiasi terlihat pada dinding bagian depan T_1 dan dinding samping T_3 , dimana temperatur dinding lebih tinggi dibanding temperatur lingkungan. Pada dinding depan T_1 sinar matahari mengenai permukaan dinding luar secara langsung mulai pukul 07.30 s/d 10.00 WIB, sedangkan pada dinding samping T_3 terkena cahaya mulai jam 11.00 s/d 14.00 WIB.



Gambar 6. Temperatur dinding depan T_1

Gambar 7. Temperatur dinding samping T_3

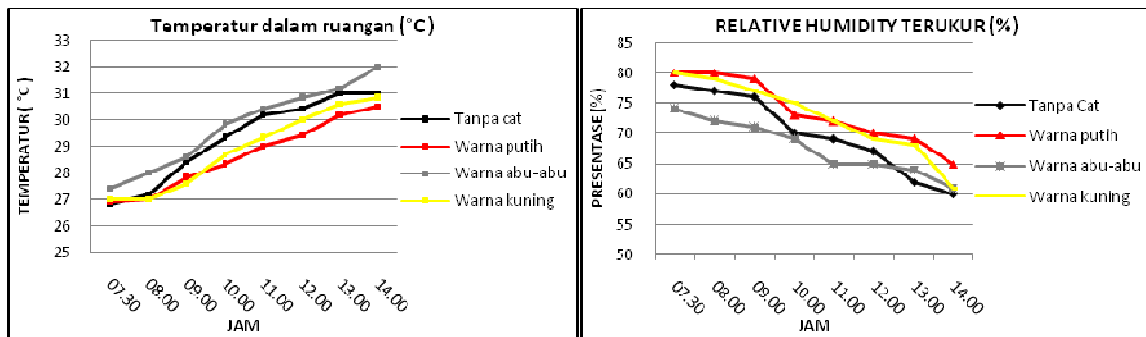


Gambar 8. Temperatur atap

Dari gambar 8 terlihat bahwa penggunaan variasi warna cat pada dinding menunjukkan perbedaan nilai temperatur dimana warna-warna cat gelap memiliki kecenderungan panas yang lebih tinggi dibanding warna terang. Hal ini disebabkan nilai absorpsivitas untuk warna-warna gelap lebih tinggi [10].

- absorpsivitas bata plester : 0,89
- absorpsivitas cat putih : 0,30
- absorpsivitas cat kuning : 0,58
- absorpsivitas cat abu-abu : 0,91

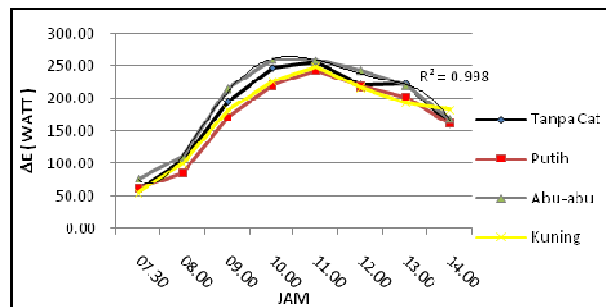
Dari hasil eksperimen juga menunjukkan besarnya nilai temperatur pada dinding akan mempengaruhi temperatur serta kelembaban relatif ruang. Seperti terlihat dalam gambar berikut:



Gambar 9. Temperatur ruang

Gambar 10. Relative Humidity terukur

Dari gambar diatas menunjukkan hubungan tidak langsung antara temperatur terhadap kelembaban relatif. Jika temperatur ruang naik maka terjadi penurunan kelembaban relatif. Warna cat terang memiliki nilai temperatur ruangan lebih rendah disebabkan kemampuannya memantulkan cahaya matahari lebih baik dan nilai absorpsivitasnya yang rendah dibanding warna terang.



Gambar 11. Hasil energi yang tersimpan di dalam ruang

Dari hasil perhitungan, kalor yang tersimpan di dalam ruangan pada tanpa cat sebesar 245,45 W, warna putih sebesar 218,80 W, warna abu-abu sebesar 258,10 W dan warna kuning sebesar 225,67 W. Hal tersebut menunjukkan bahwa penyerapan radiasi matahari pada dinding dan atap memiliki pengaruh yang besar. Kalor yang tersimpan di dalam ruangan pada dinding warna abu-abu paling tinggi dan warna putih memiliki kalor yang tersimpan paling rendah. Hal tersebut dikarenakan warna abu-abu memiliki nilai absorpsivitas paling tinggi dibanding warna lainnya. Jadi warna terang atau gelap mempengaruhi perpindahan kalor pada ruangan yang.

Dari hasil perhitungan kecepatan aliran udara, menunjukkan hubungan kalor radiasi ruang terhadap luas ventilasi alami keluaran yang seharusnya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rumah yang menggunakan warna abu-abu memiliki nilai kalor yang harus dibuang lebih besar yaitu 221,54 watt; tanpa cat 200,29 watt; warna kuning 156,96 watt; dan warna putih 148,70 watt. Dari hasil perhitungan juga menunjukkan penggunaan warna gelap pada dinding menuntut kebutuhan ukuran ventilasi yang lebih besar dibanding warna terang yaitu variasi tanpa cat sebesar 0,163 m², warna abu-abu sebesar 0,211 m², warna putih sebesar 0,093 m², dan warna kuning sebesar 0,098 m².

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan perhitungan sebelumnya, dapat diketahui bahwa:

1. Kalor yang tersimpan didalam ruangan yang terjadi pada rumah model tanpa cat sebesar 245,45 W, warna putih sebesar 218,80 W, warna abu-abu sebesar 258,10 W dan Warna kuning sebesar 225,67 W, hal tersebut dikarenakan warna abu-abu memiliki nilai absorpsivitas paling besar dibanding variasi warna lain yang digunakan.
2. Warna cat mempengaruhi temperatur dinding luar model rumah, temperatur paling tinggi adalah abu-abu sebesar 55,00 °C. Selanjutnya warna dinding tanpa cat sebesar 53,19 °C, warna cat kuning 48,01 °C dan putih 46,28 °C pada jam 10.00 WIB.
3. Hasil perhitungan menunjukkan luas ventilasi alami keluaran berdasarkan kalor yang harus dibuang untuk variasi tanpa cat sebesar 0,163 m², warna abu-abu sebesar 0,211 m², warna putih sebesar 0,093 m², dan warna kuning sebesar 0,098 m².

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*".
3. Synnefa Afroditi, 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. Kreith, Frank. 1991, "*Prinsip-Prinsip Perindahan Panas*", Edisi ketiga, PT. Erlangga, Jakarta.
10. Prasasto Satwiko. 2004, "*Fisika Bangunan I*", Edisi 1. Penerbit Andi, Yogyakarta.
11. <http://bintangutamapersada.blogspot.com>, "*Onduline-Atap Ringan Rumah yang Dibentuk*".
12. Koestoer, Radi Artono. 2004, "*Pengukuran Teknik*", Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
13. Cengel, Y.A. 2003, "*Heat Transfer*". Mc. Graw-Hill, Inc., New York.