

KAJI PENGGUNAAN METHANOL SEBAGAI REFRIGERAN UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI TERMAL SISTEM PENDINGIN KONVEKSI DENGAN *UNDERGROUND THERMAL STORAGE TANK*

M. Dyan Susila dan Indra Mamad Gandidi

Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Lampung
Gedung H Fakultas Teknik, Jl. Prof. Soemantri Brojonegoro No. 1
Bandar Lampung, 35145 Telp: (0721) 3555519 Fax: (0721) 704947
e-mail : indra_m_g@unila.ac.id

Abstract

Convective roof cooling operates using water as refrigerant. It consists in convection process pass through over the roof, thus decreasing the roof temperature. This system has a great potential to provide thermal comfort in places where roof temperature is low. However, thermal efficiency from the previous research which it is use water as refrigerant is still low. A way to solve this problem is to use methanol as a refrigerant. Following, this paper analyzes some operation parameters such as: roof and room temperature and heat transfer rate. The paper shows the conditions for the best operation point, with regard to thermal conditions of roof and room temperature.

Keywords: wind, turbine, electrical power.

DAFTAR SIMBOL

Simbol		Satuan
A	Luas permukaan perpindahan panas pipa	(m ²)
D _h	Diameter hidraulik pipa	(m)
f	Faktor gesekan	(Tak Berdimensi)
F	Faktor koreksi LMTD	(Tak Berdimensi)
h _e	Koefisien perpindahan panas konveksi	(W/m ² .K)
k	Konduktivitas termal	(W/m.K)
Nu _e	Bilangan Nusselt	(Tak Berdimensi)
Pr	Bilangan Prandtl	(Tak Berdimensi)
Ra _D	Bilangan Reynold	(Tak Berdimensi)
ΔT ₀	Gradien temperatur keluar atap	(K)
ΔT _i	Gradien temperatur masuk atap	(K)
ΔT _{L,C}	Log Mean Temperature Different	(K)
U _e	Koefisien perpindahan panas menyeluruh	(W/m ² .K)

PENDAHULUAN

Pengaruh penipisan ozon di lapisan stratosfir berdampak pada perubahan cuaca dan meningkatnya radiasi ultra violet (UV-B) yang mencapai permukaan bumi. Hal ini akan menimbulkan berbagai masalah bagi

perikehidupan manusia. Misalnya menurunnya imunitas, bertambahnya penyakit menular, meningkatnya kasus kanker kulit, kerusakan pada mata, kerusakan pada rantaibiologis dan masih banyak lagi (modul pembelajaran interaktif, 2008).

Salah satu zat utama yang bertanggung

jawab terhadap kerusakan lapisan ozon adalah unsur Klorin (Cl). Unsur ini secara luas digunakan sebagai methanolan pendingin pada freezer, kulkas, AC ruangan, dan mesin pendingin lainnya, serta dikenal sebagai zat CFC (Chlorofluorocarbon). (Suara Pembaruan, 2007)

Disisi lain, kecendrungan masyarakat dunia terutama yang berada pada daerah tropis untuk menaikan standar hidupnya khususnya dalam memenuhi kebutuhan ruangan yang nyaman telah memberikan pengaruh terhadap keseimbangan kebutuhan dan ketersediaan energi listrik. Dimana diketahui, untuk mengoperasikan sebuah AC dibutuhkan energi listrik yang cukup besar. Semakin banyak penggunaan AC maka beban listrik yang harus ditanggung oleh pembangkit daya akan semakin besar. Sehingga tahun 2010 diperkirakan 63,2 % pembangkit daya listrik di Indonesia masih menggunakan energi fosil yang notabene kian menipis (www.elektroindonesia.com).

Oleh karena itu, penyediaan teknologi pendingin alternatif yang bernilai ekonomis dan ramah lingkungan sangat diperlukan. Keberhasilan mereduksi beban termal ke dalam ruangan dengan cara mereduksi panas radiasi yang sampai ke permukaan atap rumah telah dapat memenuhi kebutuhan pendinginan ruangan yang bernilai ekonomis dan ramah lingkungan (Jain. S, 2003). Penggunaan metode *evaporatif roof cooling* menggunakan atap PV dapat menurunkan temperatur atap dari 72 °C menjadi 39 °C dan dapat menghemat biaya (operasi dan perawatan) sebesar 30 % pada tahun ke-5 dibandingkan penggunaan AC (C. M. Chu, A, et all, 2003).

Selanjutnya, temperatur atap pada siang hari dapat mencapai 60°C sedangkan pada malam harinya turun hingga 25°C. Fluktuasi temperatur ini dapat mengakibatkan *thermal shock* pada atap dan mempercepat penuaan material atap. Dengan memberikan perlakuan pendinginan pada atap agar temperatur atap tetap konstan akan dapat memperpanjang umur penggunaan atap (Flora Kylie, 2002).

Bagaimanapun juga, problem biaya karena penggunaan PV dalam mengkonstruksi pendingin evaporasi akan menjadi hambatan utama dalam merealisasikan sistem ini di Indonesia. Lebih lanjut, metoda evaporasi akan

membutuhkan cadangan air yang cukup banyak untuk menambah sejumlah air yang menguap ke lingkungan dan teknologi jenis ini akan sulit diterapkan bagi daerah yang miskin sumber air.

Berkaitan dengan problem harga atap PV dan keterbatasan akan sumber air, I.M. Gandidi, 2008, melakukan reduksi temperatur atap menggunakan metode konveksi dengan mengalirkan air di atas dan atau di bawah permukaan atap dengan sekumpulan pipa yang terbuat dari tembaga. Panas ini dibuang kedalam *thermal storage tank* yang ditempatkan di kedalaman 3 meter tepat di bawah rumah. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa metode ini mampu menurunkan temperatur atap 12 °C.

Bagaimanapun, penurunan temperatur atap 12 °C belum merupakan kondisi optimum dari sistem ini. Rendahnya hasil ini disebabkan oleh penggunaan air sebagai refrigeran dimana diketahui air mempunyai titik didih yang tinggi sehingga panas yang diserap untuk proses penguapan air di atas permukaan atap tidak maksimal. Karenanya, penelitian yang telah dilakukan ini menggunakan methanol sebagai refrigeran agar proses penyerapan panas di atas permukaan atap lebih maksimal.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada wilayah katulistiwa, energi panas matahari sampai ke atap melalui proses radiasi dengan laju perpindahan panas Q sampai ke atap lebih kurang $800 \text{ W/m}^2 - 1000 \text{ W/m}^2$ (*The FAO Technical Papers*, 2003). Panas pada atap ruangan tersebut akan sampai kedalam ruangan melalui mekanisme perpindahan panas radiasi melalui atap sehingga temperatur ruangan akan meningkat. Panas pada atap ini merupakan sumber panas paling besar dalam memberikan kontribusi terhadap peningkatan temperatur ruangan yang besarnya 46% dari sumber panas total (ASHRAE Model, 2004). Karenanya, rumah hunian akan mempunyai temperatur ruangan antara 30 °C sampai 35 °C. Kondisi ini sangat tidak nyaman untuk melakukan aktivitas di dalam rumah. Jika sumber panas yang masuk ke ruangan sebesar 46% yang berasal atap dapat diserap, maka temperatur ruangan diperkirakan dapat mencapai 26 °C - 28 °C. Temperatur ini sudah memenuhi standar

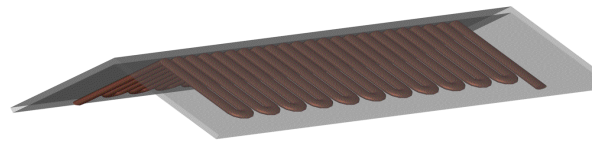
ruangan yang nyaman di musim panas (Sustainable energy authority Victoria, 2002).

Sistem pendingin alternatif ini diperkirakan dapat menyelesaikan persoalan kebutuhan teknologi pendingin ruangan rumah hunian daerah tropis dan mereduksi penggunaan AC elektrik serta masalah energi dan lingkungan yang ditimbulkannya. Selain itu, penggunaan sistem pendingin alternatif sangat baik dan menunjang program pemerintah dalam pengurangan dan pelarangan penggunaan *refrigeran* perusak ozon seperti yang tertuang dalam Keputusan Menperindag RI No: 110/MPP/Kep/1/1998 tentang larangan memproduksi dan memperdagangkan bahan perusak lapisan ozon serta memproduksi barang baru yang menggunakan bahan perusak lapisan ozon (Pasek, A.D, dkk., 2004).

Prinsip Kerja Pendinginan Konveksi

Sistem pendingin konveksi pada dasarnya kombinasi antara sistem pendingin konvensional (kompresi uap) dengan sistem pendingin absorpsi (*absorption cooling*). Sistem ini juga tersusun dari komponen yang merupakan inti dari sebuah AC, seperti : kondensator (terletak pada tangki methanol di bawah tanah), evaporator (rangkaian pipa tembaga pada atap), dan katup ekspansi. Perbedaan mendasar yang dimiliki oleh metode konveksi dengan AC adalah tidak menggunakan kompresor sehingga daya listrik yang dibutuhkan relatif kecil.

Prinsip kerja metode ini adalah refrigeran methanol mengalir dalam evaporator yang ditempatkan di bawah dan atau di atas permukaan atap. Selama melintas dalam evaporator, refrigeran methanol akan menyerap panas secara konveksi pada permukaan atap (gambar 1). Panas yang diserap oleh refrigeran methanol dibuang di bawah tanah (*underground thermal storage tank*) menggunakan kondensator. Pembuangan panas melalui kondensator di dalam tanah sangat memungkinkan karena temperatur bawah berkisar antara $17^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}$ untuk kedalaman 3 meter (Kasuda, T., and Archenbach, P.R, 1999).



Gambar 1. Susunan pipa evaporator pada atap.

Metanol

Metanol dikenal juga dengan nama alkohol kayu. Titik lelehnya adalah -98°C dan titik didihnya adalah $64,7^{\circ}\text{C}$. Massa molarnya adalah $32,04 \text{ g/mol}$ dengan *specific gravity* 2.12 (Oxford, 2004). Pada suhu 100°C , entalpi penguapan air adalah $2256,7 \text{ kJ/Kg}$, sedangkan entalpi penguapan metanol pada temperatur yang sama adalah 1101 kJ/Kg , (Hewitt, 1994). Ini berarti jumlah energi per satuan massa yang dibutuhkan oleh metanol untuk menguap adalah lebih sedikit dibandingkan air, atau dengan kata lain metanol akan lebih cepat menguap. Pada proses penguapan, panas yang diambil (kalor laten) akan lebih besar dibandingkan ketika hanya terjadi peningkatan temperatur (kalor sensibel) (*Chemical safety Data*, 2004).

Perpindahan Panas pada Atap

Proses perpindahan panas pada atap dengan pendinginan konveksi berlangsung dalam tiga arah. Masing-masing adalah panas yang diterima permukaan atap karena radiasi matahari, panas yang diserap secara konveksi oleh evaporator dan panas yang diteruskan ke ruangan secara radiasi oleh atap (I. M. Gandidi, 2008).

Laju perpindahan panas yang diserap evaporator Q_e dapat diturunkan dari persamaan kesetimbangan energi yang terjadi pada atap (Hewitt, G.F., Shires, G.L., Bott, T.R, 1994). Dari hukum kesetimbangan energi, laju perpindahan panas yang diserap refrigeran methanol dalam evaporator sebesar :

$$Q_e = U_e A \Delta T_{L,C} \quad (1)$$

Dimana,

$$\Delta T_{L,C} = \frac{\Delta T_o - \Delta T_i}{\ln(\Delta T_o / \Delta T_i)} \cdot F \quad (2)$$

$$h_e = \frac{Nu_e k}{D_h} \quad (3)$$

Dimana F adalah faktor koreksi evaporator untuk jenis *multipass flow*. Harga bilangan Nusselt Nu tergantung pada karakteristik aliran yang terjadi dalam kondensor. Untuk aliran dalam pipa dimana temperatur permukaannya diasumsikan konstan, dengan kondisi aliran laminar dan berkembang penuh maka nilai bilangan Nusseltnya konstan ($Nu_e = 3,66$). Sedangkan untuk aliran yang turbulen dapat digunakan persamaan yang dihasilkan *Petukhov, et all* (Incropera, Frank P dan Dewitt, David P. 1996):

$$Nu_e = \frac{(f/8)(Re_D - 1000)Pr}{1 + 12,7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3} - 1)} \quad (4)$$

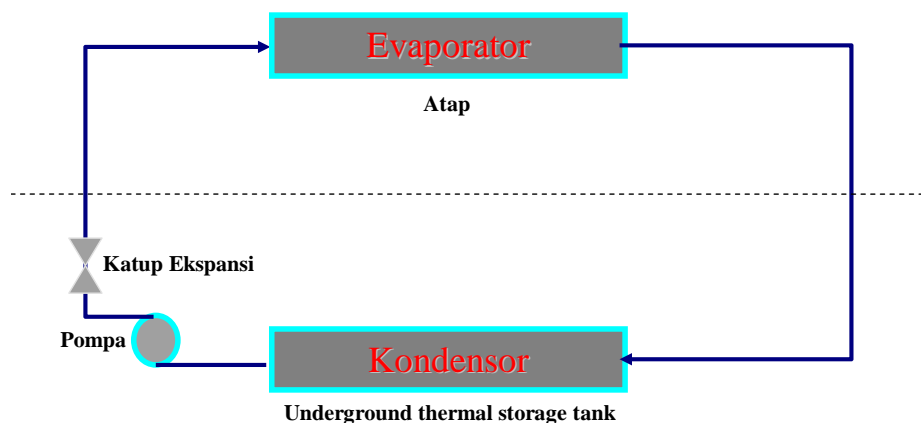
dimana f adalah :

$$f = (1.82 \log Re_D - 1.64)^{-2} \quad (5)$$

METODE PENELITIAN

Metode dalam penelitian ini dilakukan sama dengan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelum ini (I. M. Gandidi, 2008). Hal ini dilakukan untuk mendapat hasil komparasi yang jelas terhadap penggunaan methanol sebagai refrigeran.

Penelitian dilakukan secara eksperimental terhadap dua model rumah yang berukuran 2 m x 1.5 m x 2 m. Kedua model ini digunakan untuk mendapat data yang dibutuhkan pada rumah dengan perlakuan pendinginan atap dan rumah tanpa perlakuan pendinginan atap.



Gambar 2. Instalasi pengujian pendinginan metode konveksi

Model rumah dibuat tipe permanen menggunakan material beton dengan atap seng. Untuk rumah dengan perlakuan pendinginan, di atas atap seng diberi evaporator sebagai alat pendingin menggunakan pipa tembaga yang berdiameter $\frac{1}{4}$ " dengan panjang proporsional dengan lebar atap. Geometri pipa dibentuk persegi dengan kedua ujungnya setengah lingkaran (*rectangle duct with rounded ends*).

Kondensor sebagai alat untuk membuang

panas ke lingkungan bawah tanah (*thermal storage tank*) juga terbuat dari pipa tembaga berdiameter $\frac{1}{4}$ " dengan panjang 20 m yang diletakkan pada kedalaman 3 meter di bawah permukaan tanah tepat di bawah rumah model. Agar temperatur keluaran kondensor lebih dingin, dibuat juga katup ekspansi menggunakan pipa bercabang yang berdiameter $\frac{3}{16}$ ".

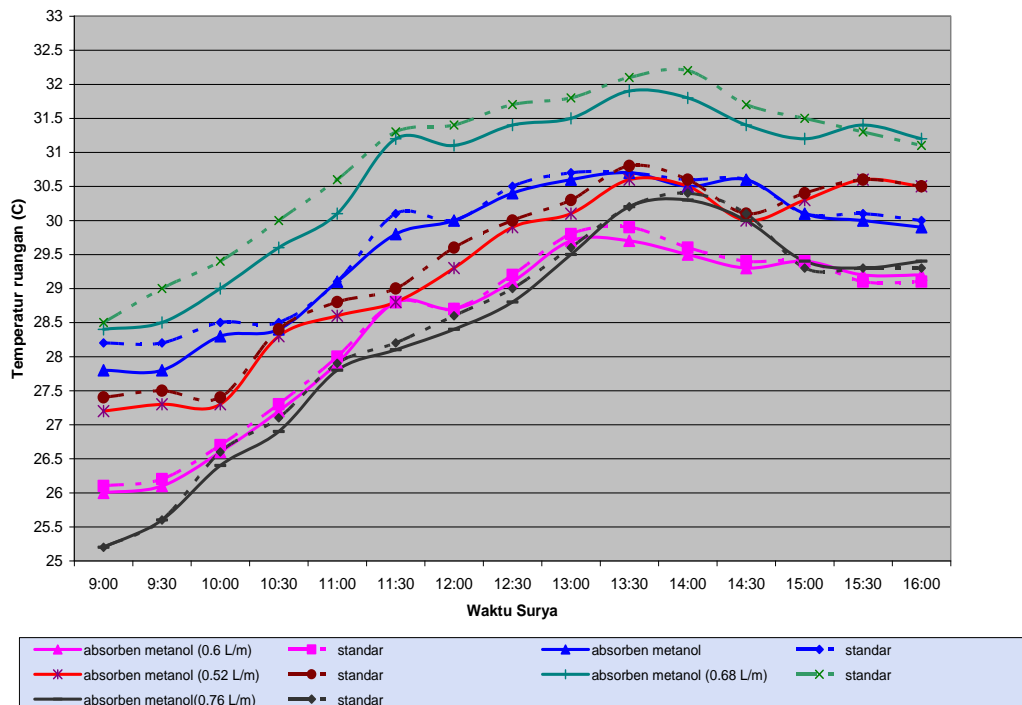
Untuk mensirkulasikan methanol sebagai fluida kerja (*absorber*), dialirkan menggunakan pompa berkapasitas 34 l/mt yang diletakan disamping rumah model.

Dalam pelaksanaan penelitian, model tanpa pendingin dengan model rumah dengan pendingin, diuji pada waktu yang bersamaan. Data-data temperatur yang diperlukan, diukur menggunakan *thermokopel digital* yang diletakan pada 7 titik pengukuran. Proses pengambilan data dilakukan setiap setengah jam dimulai dari jam 08.00 sampai jam 16.00 untuk setiap satu laju aliran massa methanol. Laju aliran massa methanol divariasikan sebanyak 5 variasi dengan cara mengatur katup sebelum masuk *flow meter*. Sehingga dibutuhkan 10 hari waktu pengambilan data. Pengukuran besarnya radiasi matahari yang sampai di permukaan atap, diukur menggunakan *solarimeter*. Selanjutnya, kedua hasil rumah model dibandingkan untuk menentukan pengaruh pemasangan pendingin konveksi pada atap terhadap pendinginan ruangan.

Perhitungan dilakukan untuk mendapatkan laju panas yang diserap evaporator Q_e , temperatur atap T_a dan temperatur ruangan T_r . Hasil perhitungan terhadap Q_e , T_a dan perubahan temperatur ruangan ditampilkan dalam bentuk grafik sebagai fungsi laju aliran massa methanol dan radiasi matahari.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tulisan ini menganalisis beberapa parameter yang berhubungan dengan perubahan temperatur atap dan ruangan yang merupakan fungsi dari laju aliran massa refrigerant dalam evaporator dan radiasi matahari. Gambar 3. menunjukkan pengaruh intensitas matahari terhadap perubahan temperatur ruangan rumah model dengan system pendingin menggunakan methanol dan tanpa pendingin. Pengukuran data dilakukan selama 5 hari pada waktu cuaca cerah.

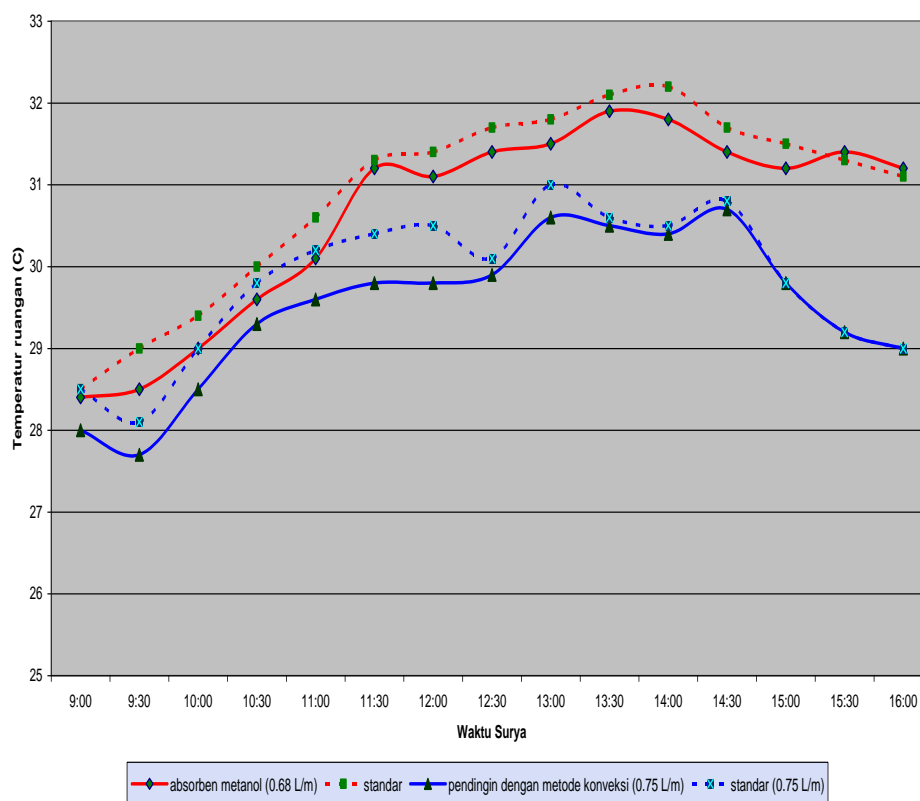


Gambar 3. Grafik temperatur ruangan terhadap waktu surya

Pada laju aliran massa methanol 0.68 L/m, temperatur ruangan tertinggi pada rumah model tanpa pendingin sebesar yaitu 32.2 °C yang terjadi pukul 14.00 dengan radiasi matahari 1563.021 W dan ruangan rumah model dengan pendingin sebesar 30.9 °C yang terjadi pada pukul 13.30 dengan radiasi matahari 1814.39 W. Temperatur ruangan terendah kedua model terjadi pada laju aliran massa methanol 0.76 L/m pada pukul 09.00 dengan besar radiasi matahari 1260.23 W. Dari titik puncak tersebut temperatur ruangan akan cenderung menurun hingga akhir pengambilan data pada pukul 16.00. Penurunannya tidak terlalu signifikan dibandingkan dengan kenaikannya sejak awal pengambilan data.

Efek Penggunaan Refrigeran Air dan Methanol

Gambar 4. menunjukkan pengaruh penggunaan sistem pendingin konveksi (air) dan methanol pada rumah model serta dibandingkan dengan rumah model tanpa pendingin. Perbandingan dilakukan pada laju aliran massa dengan selisih temperatur ruangan terbaik untuk kedua sistem. Pada metode konveksi menggunakan air, rata-rata selisih temperatur ruangan terbaik terjadi pada laju alir 0.75 L/m yaitu sebesar 0.51°C, dimana selisih temperatur ruangan tertingginya mencapai 0.58 °C, dan nilai terendahnya adalah 0.1°C.



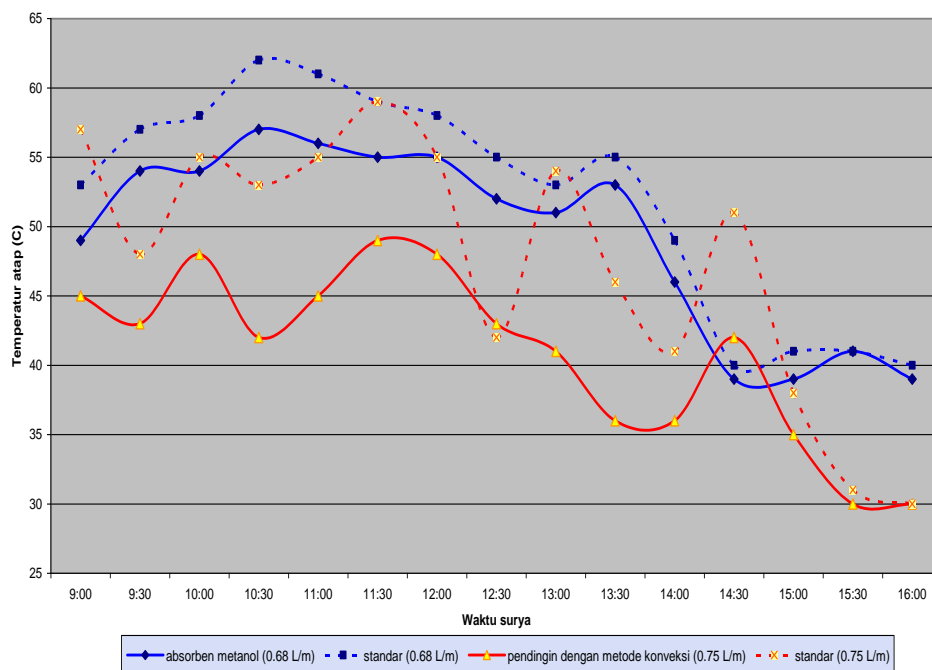
Gambar 4. Grafik temperatur ruangan metode konveksi dengan refrigerant air, methanol dan tanpa pendingin terhadap waktu surya

Sedangkan pada sistem pendingin absorben metanol rata-rata selisih temperatur ruangan terbaik terjadi pada laju alir 0.68 L/m dengan beda temperatur rata-rata yaitu 0.46°C .

Selisih temperatur ruangan tertinggi pada laju aliran ini mencapai 0.5 °C sedangkan terendahnya adalah 0.1°C. Berdasarkan kemampuannya dalam menurunkan temperatur

ruangan, sistem pendingin dengan refrigerant air lebih baik daripada sistem pendingin absorben metanol. Hal ini terjadi karena sistem kondensor yang berada di dalam tangki di bawah tanah yang tidak dirancang secara proporsional, sehingga tidak bekerja secara efektif, sehingga temperatur masukan metanol tidak dapat dipertahankan konstan. Secara umum nilainya lebih tinggi dibandingkan temperatur masukan air pada sistem pendingin metode konveksi. Bahkan pada beberapa

kondisi tertentu, temperatur metanol lebih tinggi daripada temperatur atap sehingga tidak mampu untuk mendinginkan ruangan. *Human error* dalam perancangan dan pembuatan instalasi uji, terutama sulitnya membuat pipa-pipa evaporator yang kecil, desaian optimal dan kedalaman tanki yang tidak sesuai, juga memberikan kontribusi rendahnya kemampuan methanol sebagai refrigerant.



Gambar 5. Grafik temperatur atap metode konveksi dengan refrigerant air, methanol dan tanpa pendingin terhadap waktu surya

Sama halnya dengan grafik perbandingan temperatur ruangan metode konveksi (air) terhadap sistem absorben metanol yang telah dibahas sebelumnya, pada gambar 5. nilai temperatur atap yang ditampilkan adalah pada laju aliran massa refrigeran yang memiliki persentase penurunan nilai T_a terbesar. Pada pendingin menggunakan air, terjadi pada laju alir 0.75 L/m yaitu sebesar 13.15 %, sedangkan pada sistem pendingin absorben metanol terjadi pada laju alir 0.68 L/m sebesar 10.11 %. Secara keseluruhan untuk semua laju alir volum, rata-rata persentase penurunan

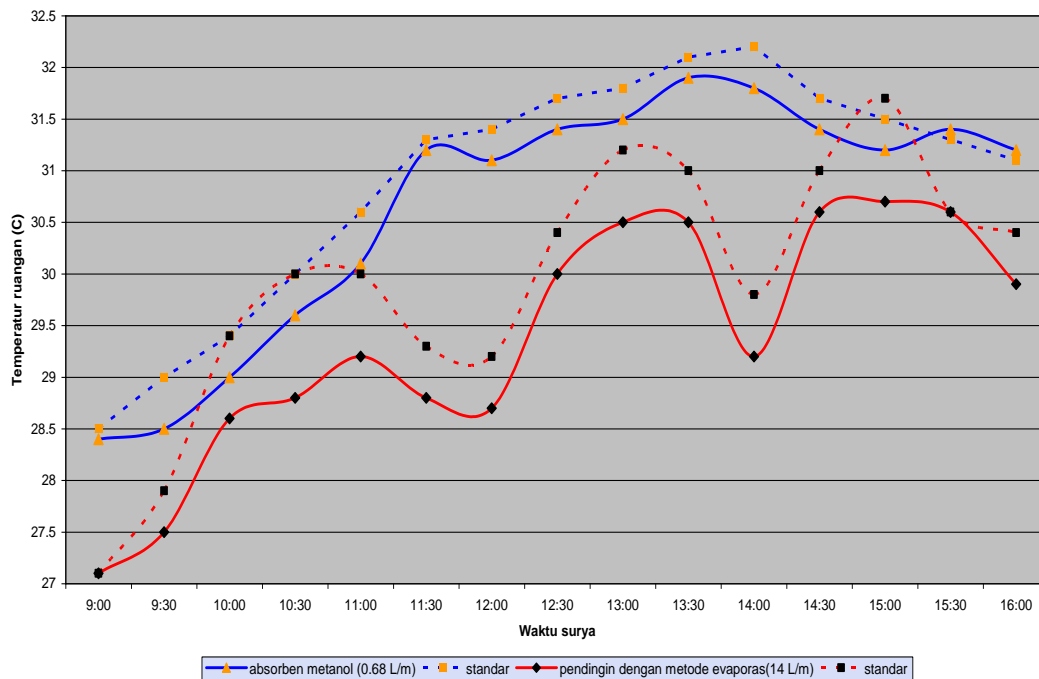
temperatur atap yang terjadi juga lebih baik pada metode konveksi menggunakan air yaitu 9.47 %, sedangkan pada sistem pendingin absorben metanol hanya 6.37 %. Efek penurunan temperatur atap pada metode konveksi dapat lebih baik karena laju penyerapan panas oleh air lebih baik daripada metanol. Nilai kalor laten metanol yang lebih besar menjadi tidak berpengaruh karena proses penguapan tidak berhasil terjadi pada saat metanol berada di atas atap. Pendeknya waktu lintas methanol di atas permukaan atap menyebabkan energi panas laten untuk

merubah fasa methanol tidak maksimal, sehingga laju penyerapan panas oleh methanol akan rendah. Temperatur masuk metanol yang tinggi juga mengakibatkan proses penyerapan panas atap oleh metanol tidak maksimal karena selisih temperatur metanol terhadap temperatur atap pun kecil. Tingginya temperatur metanol ini disebabkan oleh penempatan tangki yang kurang porposinal sebagai *reservoir thermal*.

Perbandingan dengan Sistem Pendingin Evaporasi

Grafik 6. menunjukkan perbandingan antara selisih temperatur ruangan rumah tanpa pendingin terhadap rumah dengan pendingin

evaporasi dan pendingin refrigeran metanol. Perbandingan dilakukan pada laju alir dengan selisih temperatur ruangan terbaik untuk kedua sistem. Pada metode evaporasi, rata-rata selisih temperatur ruangan terbaik terjadi pada laju alir 1.4 L/m yaitu sebesar 0.65°C. Nilai tertingginya mencapai 1.9°C, terendahnya adalah 0.4°C. Pada sistem pendingin refrigeran methanol selisih temperatur ruangan terbaik terjadi pada laju aliran massa 0.68 L/m dengan nilai yang lebih kecil yaitu 0.36°C. Selisih temperatur ruangan tertinggi pada laju aliran ini mencapai 0.5°C sedangkan terendahnya adalah 0.1°C.

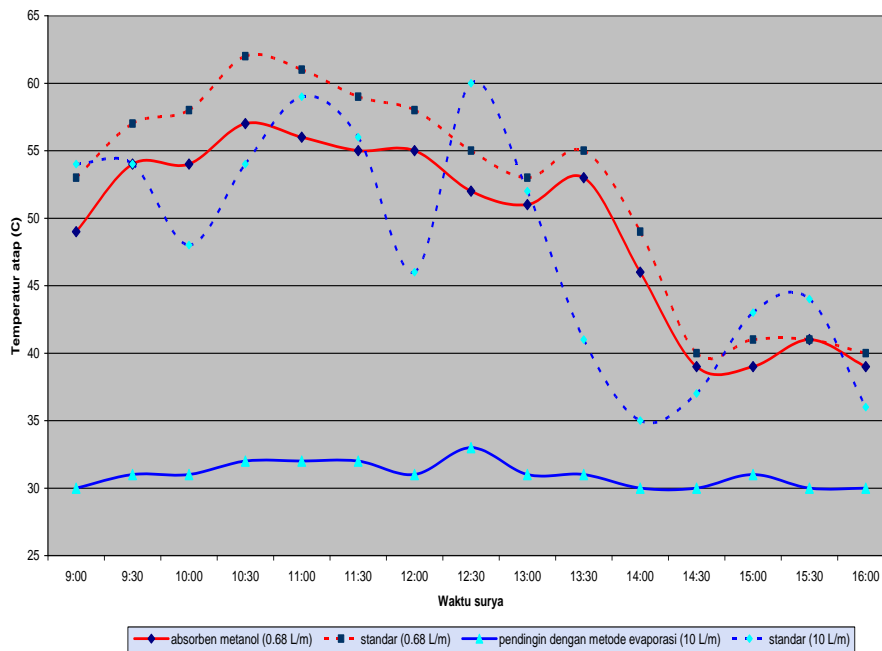


Gambar 6. Grafik temperatur ruangan metode evaporasi dan absorber metanol terhadap waktu surya

Berdasarkan kemampuannya dalam menurunkan temperatur ruangan maka sistem pendingin metode evaporasi memiliki performa lebih baik daripada sistem pendingin absorben metanol.

Selisih temperatur ruangan yang besar pada sistem pendingin evaporasi berkaitan erat dengan nilai temperatur atapnya. Seperti bisa

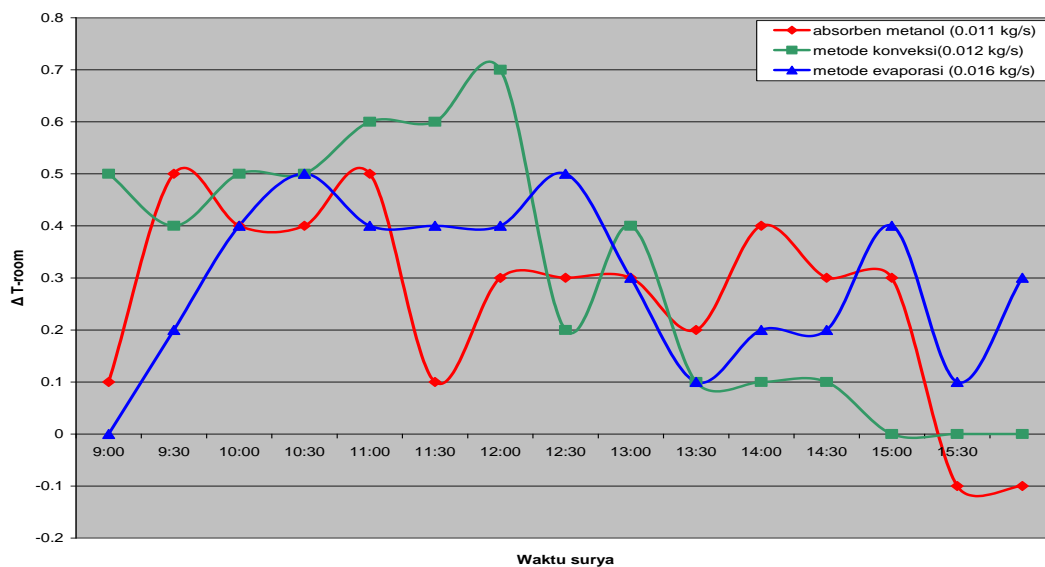
dilihat pada gambar 7 dan gambar 8, temperatur atap pada metode evaporasi dapat dipertahankan relatif konstan yaitu pada 29.8 – 33 °C, padahal temperatur atap tanpa pendingin bisa mencapai 62 °C pada kondisi puncaknya.



Gambar 7. Grafik temperatur atap metode evaporasi dan absorber methanol terhadap waktu surya

Keadaan yang ekstrim ini dapat terjadi karena pada metode evaporasi, atapnya terselimuti oleh air sepanjang pengambilan data. Temperatur atap yang rendah juga berpengaruh pada persentase penyerapan laju

perpindahan panas oleh sistem metode evaporasi yang dapat mencapai 90 %, sedangkan pada pendingin dengan absorben metanol lebih kurang 15%.



Gambar 8. Grafik ΔT -room pada sistem absorber metanol, air dan evaporasi terhadap waktu surya

KESIMPULAN

Dari jenis refrigeran yang digunakan dalam pendingin metode konveksi, model rumah dengan pendingin konveksi menggunakan air sebagai refrigeran mempunyai performansi yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan methanol. Kajian lebih lanjut perlu dilakukan jika menggunakan methanol terutama dalam mendisain dan menempatkan condensor dibawah tanah serta model atap yang digunakan. Disain khusus terhadap atap sangat diperlukan untuk meningkat kemampuan dari sistem ini agar perubahan fase dari methanol bisa berlangsung selama melintas di atas permukaan atap.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. M. Chu, A, et.all, 2003, "*Possible Schemes For Solar-Powered Methanol-Conditioning In 2-Storey Terrace Houses*", Chemical Engineering Programme, School Of Engineering And It, University Malaysia Sabah, Sabah, Malaysia.
- [2] Flora, Kylie, 2002, "*Evaporative Roof Cooling : Tried and True Alternative*", Cool Roof Co. Kentucky, 16 April 2005 [http ; // www.afe.org / members / journals / May-June 99 / default / htm](http://www.afe.org/members/journals/May-June%2099/default.htm).
- [3] Hewitt, G.F., Shires, G.L., Bott, T.R, 1994, "*Process Heat Transfer*", Begell House Inc, New York.
- [4] I. M. Gandidi., 2007, "*Reduksi Temperatur Atap dengan Metode Konveksi sebagai Metode Alternatif untuk Mendinginkan Ruang Rumah Hunian*", Laporan Penelitian Dosen Muda, Lembaga Penelitian, Univesitas Lampung.
- [5] Jain. S, 2003, "*Desiccant Augmented Evaporative Cooling: An Emerging Methanol-Conditioning Alternative*" Department Of Mechanical Engineering, Indian Institute of Technology Delhi, Hauz Khas, New Delhi-110016, India.
- [6] Kasuda, T., and Archenbach, P.R, 1999 "*Earth Temperature and Thermal Diffusivity at Selected Stations in the United States*", ASHRAE Transactions, Vol. 71, Part 1.
- [7] Pasek, A.D, dkk., 2004., "*Phase-Out Management Plan For CFCs In The Refrigeration (Servicing) Sector In Indonesia*". Palembang.
 1. Sustainable energy authority Victoria, 2002, "*Choosing a Cooling System*",
[8] http://www.sustainability.vic.gov.au/resources/documents/Choosing_a_cooling_system.pdf, 30 April 2008
 - [9] Modul Pembelajaran Interaktif, 2008 "*Retrofitting Sistem Refrigerasi*" <http://ict.pontianak.go.id/interaktif/MIRSR/ch3/index.html>, April 2008, 18.40 WIB)
 - [10] Surat Kabar Suara Pembaruan, 2007, "*Ozon, Payung Dunia yang Kian Terkoyak*", Pusat Informasi Lingkungan Dunia, http://www.pili.or.id/incl_indo_read_detail.php?id=512, April 2008, 18.40 WIB
 - [11] _____ *Pengembangan energi terbarukan sebagai energi aditif di Indonesia*, 1997, 17 Februari 2006 www.elektroindonesia.com/elektro/energi4.html.
 - [12] _____, *ASHRAE Model*, 2004. United States 16 April 2005 [www.ecoology.com / why the roof.htm](http://www.ecoology.com/why_the_roof.htm)
 - [13] _____, *Chemical safety Data: Methanol*, Jan. 2004. Oxford. Des 2005 www.OxfordHSci.com
 - [14] _____ *The FAO Technical Papers*, 2003, 16 April 2005 [www.FAO.Org / DOCRET / 003 / X5641E / X6541E02.htm](http://www.FAO.Org/DOCRET/003/X5641E/X6541E02.htm)