

# KAJIAN EKSPERIMEN SISTEM PENGKONDISIAN UDARA MENGGUNAKAN TENAGA SURYA UNTUK IKLIM TROPIS

Oleh :

**Arfidian Rachman**

Teknik Mesin - Institut Teknologi Padang  
Jln Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang - 25143  
Telp. 0751 7055202, Fax. 0751 444842  
e-mail : drarfidianrachman@gmail.com

---

## Abstrak

Penelitian ini adalah menghasilkan suatu sistem pengkondisian udara yang hemat energi dan ramah lingkungan, karena menggunakan tenaga matahari sebagai sumber energi termal dan tidak menggunakan refrigerant sebagai fluida kerjanya. Sistem ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan ruang pendinginan di bangunan, di mana sistem ini menghasilkan penghematan energi mencapai 80% dibandingkan sistem pengkondisian udara pemampatan gas. Kelebihan sistem ini adalah dapat mengontrol kelembapan dan suhu secara terpisah. Analisis ekperimental dan simulasi untuk masing-masing komponen dikhususkan pada variasi kinerja sebagai fungsi dari laju aliran udara pada bagian proses dan regenerasi, didapatkan efisiensi kolektor matahari adalah 70% pada intensitas matahari adalah  $0,606 \text{ kW/m}^2$ , pada kecepatan aliran air  $4.5 \text{ m/s}$  dengan debit aliran air  $10 \text{ liter/menit}$ . Untuk bagian sistem pengkondisian udara menggunakan dua buah roda, yaitu roda dehumidifikasi sebagai penurun kelembapan dan roda perpindahan panas sebagai penurun suhu. Kecepatan aliran udara proses dan udara regenerasi pada kedua-dua roda yaitu  $3,77 \text{ m/s}$  dengan kapasitas  $500 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Dari analisa eksperimen dan simulasi didapat efektifitas roda pengering dan roda perpindahan panas adalah 56% dan 72%. Hasil dari eksperimen didapatkan nilai COP sistem ini adalah 0,3, dengan kapasitas pendinginan  $5,6 \text{ kW}$ . Dengan rasio pengembalian ekonomi 5 tahun.

**Kata Kunci** : energi matahari, sistem dehumidifikasi, beban laten.

---

## PENDAHULUAN

Sistem pengkondisian udara dengan dehumidifikasi/pengeringan, silika gel sebagai bahan pengering didukung dengan kolektor surya dengan menggunakan tabung vakum sangat menarik untuk aplikasi pendinginan udara. Dalam siklus pengkondisian udara dengan dehumidifikasi menggunakan tenaga surya, di mana energi surya digunakan untuk proses pemanasan udara regenerasi. Sehingga kelembapan udara dapat diturunkan, udara yang telah diturunkan kelembapannya kemudian suhunya diturunkan di dalam roda pemulihan panas kemudian diturunkan lagi suhunya di dalam pendinginan evaporative. Teknik ini menggunakan air sebagai media pendingin. Sedangkan energi surya dan listrik hanya digunakan sebagai pembantu, sehingga teknik ini ramah lingkungan. Dalam aplikasi di negara yang beriklim tropis, isu sumber energi keterbarukan masih di bawah estimasi akibatnya kita tidak melihat aplikasi penggunaan energi surya secara luas di

masyarakat. Untuk kebutuhan pendinginan ruangan, ketersediaan energi surya bertepatan dengan kebutuhan untuk pendinginan. Demikian pula permintaan listrik di musim panas pada puncaknya, sehingga menawarkan kesempatan untuk menggunakan energi matahari dalam sistem ruang pendingin. Sistem pendinginan dengan roda bahan pengering ini membutuhkan suhu panas  $40^\circ\text{C}$  sampai  $80^\circ\text{C}$  untuk bagian roda pengering yang dapat dipasok dari kolektor surya atau dengan pemanas tambahan lainnya. Sistem pendinginan pengering ini menunjukkan potensial penghematan energi yang besar dengan menggunakan energi kelas rendah, seperti energi matahari.

Kelebihan lainnya dari sistem pendinginan pengering ini adalah kontrol panas laten dan sensibel dapat dilakukan secara terpisah, dan ini tidak dapat dilakukan pada sistem pendingin biasa (*vapour compression*) [1]. Sistem pendingin pengering pertamakali dilakukan oleh Pennington pada tahun 1955 [2]. Umumnya, bahan yang digunakan untuk

dehumidifikasi, padat dan cair. Banyak ilmuwan dan peneliti telah mempelajari kedua jenis pengering pendinginan menggunakan energi terbarukan [3]. Bahan yang umum digunakan dalam sistem pendingin pengering padat dan cair adalah silika gel dan cairan air lithium klorida. Sistem pendinginan pengering mencakup tiga unit utama, yaitu, pengering, sumber panas, dan unit pendingin [4].

Mengingat penggunaan udara ambien dalam sistem pendingin pengering surya, kondisi lingkungan masing-masing daerah memiliki dampak yang signifikan pada kinerja sistem. Meskipun berbagai penelitian dan publikasi pada sistem pengering pendinginan satu tahap dan dua tahap telah didasarkan pada data cuaca yang berbeda, tidak ada studi tersebut membandingkan satu tahap dan dua tahap teknologi pendingin surya yang telah dilakukan di iklim tropis. Tuntutan yang tinggi dari sistem pendingin udara karena cuaca panas dan lembab sepanjang tahun, serta konsumsi energi tinggi pada sistem pendingin/AC konvensional, telah mendorong untuk melakukan penelitian sistem pengering pendingin surya sebagai sistem pendingin udara yang efisien di iklim tropis. Dalam penelitian ini studi pengkondisian udara dengan bahan pengering/dehumidifikasi dengan tenaga surya dalam keadaan cuaca panas dan lembap.

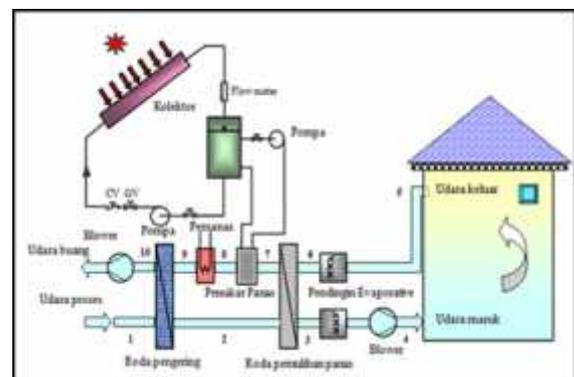
## METODOLOGI PENELITIAN

### 1. Susunan Eksperimen

Gambar 1 menunjukkan sistem pendingin pengering, yang dipertimbangkan dalam penelitian ini. Karena sistem ini dipertimbangkan untuk standart kesehatan, maka 100% udara segar akan digunakan. Saluran udara segar digunakan untuk memasok udara segar untuk ruang ber-AC udara disedot dari ruangan yang dikondisikan dan dikeluarkan melalui saluran udara buang. Saluran udara regenerasi digunakan untuk menghilangkan/membuang kelembaban di unit pengering. Berbagai komponen (*dehumidifier*, penukar panas, kipas, pemanas, sensor suhu dan sensor kelembaban relatif) berada dalam saluran ini untuk mengontrol dan menyesuaikan kondisi aliran udara. Diagram psikometri dari sistem dipertimbangkan untuk pendingin udara, desain ditunjukkan pada Gambar 2. Gambar 1 menunjukkan siklus

pengering beroperasi sebagai berikut: (1) penurunan kelembapan di roda pengering (2) udara yang telah kering kemudian didinginkan dalam roda perpindahan panas (3) udara kembali didinginkan dalam proses evaporasi (4) akhirnya, udara yang sudah dingin dan kelembapan yang sudah disesuaikan dimasukkan ke ruang kondisi. Urutan operasi untuk udara kembali (5) adalah sebagai berikut: mendinginkan udara segar di roda perpindahan panas (6). Hal ini kemudian dipanaskan dalam penukar panas dengan kolektor surya atau pemanas listrik. (7) dan akhirnya melewati roda pengering (8) dengan menurunkan kelembapan sebelum keluar sistem.

Roda pengering dirancang untuk beroperasi dengan daerah 50% untuk reaktivasi/regenerasi dan 50% untuk proses (50/50 split). Diameter roda adalah 250 mm dan lebar 533 mm dengan kecepatan 8 rpm untuk tingkat aliran udara nominal 233,49 m<sup>3</sup>/jam. Roda perpindahan panas terbuat dari struktur aluminium sarang lebah. Berputar pada 12 rpm. Diameter regenerasi adalah 700 mm dan lebarnya 700 mm. Dipasang pendingin menguapkan aliran udara max 6000 m<sup>3</sup>/jam. Konsumsi motor listrik adalah sekitar 150 W.



Gambar 1. Skema pendinginan pengering surya dalam mode ventilasi.



Gambar 2. Sistem pendinginan pengering pada diagram psikometrik.

Tabel 1. Spesifikasi komponen pendingin surya.

Komponen	Spesifikasi
Roda pengering	Energi listrik: 0.2 kW, speed of rotor rotation: 8 r/h
Roda perpindahan panas	WSG 250x200 model, 1/80 Hp, 200 scfm flow rate
Blower	ASF 604 model, 240V, Single phase 50 Hz
Penukar panas	Radiator dari Daihatsu
Pemanas listrik	WFH -24065 model, 240V, kecepatan udara 1.5 m/s, 1000W
Tangki air panas	Termomax model, kapasitas 120 liter
Kolektor surya	Tabung vakum
Pompa	JP Basic 3 GF-model, 50m Max head, kapasitas 45 L/min.
Pompa air panas	815-BR-C Magne-Boost model, 4.1 Max head, 2850 RPM

## 2. Analisa Energi

Unit pendinginan pengering adalah sistem yang digerakkan oleh panas, dan COP didefinisikan sebagai :

$$COP = \frac{\dot{Q}_{cool}}{\dot{Q}_{regen}} = \frac{\dot{m}_a(h_5 - h_4)}{\dot{m}_a(h_7 - h_8)} \quad (1)$$

Di mana  $\dot{Q}_{cool}$  adalah tingkat laju perpindahan panas dari ruang yang didinginkan,  $\dot{Q}_{regen}$  laju pasokan panas udara regenerasi ke unit,  $\dot{m}_a$  adalah laju aliran massa udara, dan  $h$  adalah entalpi spesifik dari uap air, efektifitas roda pemulihan panas dapat dinyatakan sebagai :

$$\varepsilon_{HRW} = \frac{T_2 - T_3}{T_7 - T_8} \quad (2)$$

Dimana T adalah suhu udara lembab. Efektivitas roda pengering dapat dinyatakan sebagai :

$$\varepsilon_{DW} = \frac{T_2 - T_3}{T_7 - T_8} \quad (3)$$

## 3. Fraksi Surya

Umumnya, kolektor surya mengkonversi radiasi matahari menjadi energi panas dalam sistem pendingin surya. Mengingat energi panas cukup dari kolektor surya dalam cuaca berawan, pemanas cadangan diperlukan untuk mencapai energi panas untuk total energi digunakan untuk menggerakkan sistem pendinginan. Rasio persentase energi termal diproduksi oleh kolektor surya untuk total energi menggerakkan sistem pendingin dikenal sebagai fraksi suria, dapat dinyatakan sebagai :

$$SF = \frac{Q_u}{Q_t} \quad (4)$$

Di mana  $Q_u$  adalah energi termal yang dihasilkan oleh kolektor suria,  $Q_t$  adalah total energi sistem pendingin .

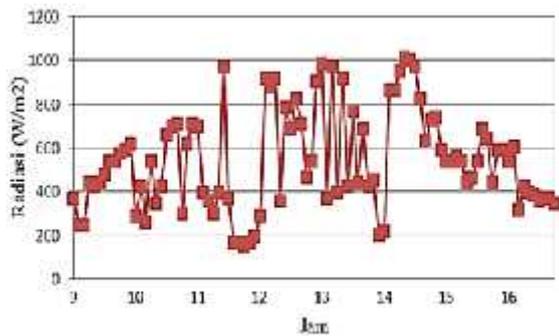
$$Q_u = A \times \eta \times G \quad (5)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Formulasi energi dalam dalam eksperimen ini diterapkan pada sistem pendingin pengering yang dijelaskan sebelumnya. Tabel 2 hasil pengukuran suhu bola kering dan bola basah untuk masing-masing titik dan properti dihitung untuk sistem selama operasi. Sifat udara lembab dan air diperoleh dari persamaan fungsi termodinamika untuk berbagai zat (Klein, 2006).

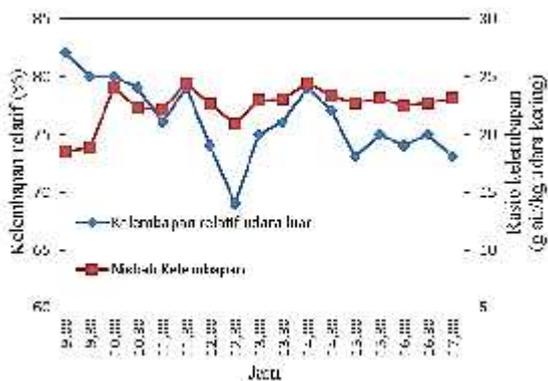
Tabel 2. Hasil pengukuran dan perhitungan berbagai-bagai sifat tingkat keadaan sistem pada gambar 1.

Po sisi	T <sub>db</sub> (°C)	T <sub>wb</sub> (°C)	ω (kg water/kg dry air)	φ (%)	h (kJ/kg dry air)
1	30.8	25.3	18.1	64.6	77.4
2	45.2	27.0	15.2	25.07	84.8
3	25.5	22	15.3	74.3	64.5
4	29.2	15.3	5.2	20.8	42.7
5	31.3	22.1	13.0	45.3	64.7
6	25.1	24.5	19.2	95.3	74.3
7	44.2	28.7	18.9	32.6	93.3
8	52.9	25.8	10.7	12.9	79.6
9	44.3	30.8	22.9	38.9	103.7

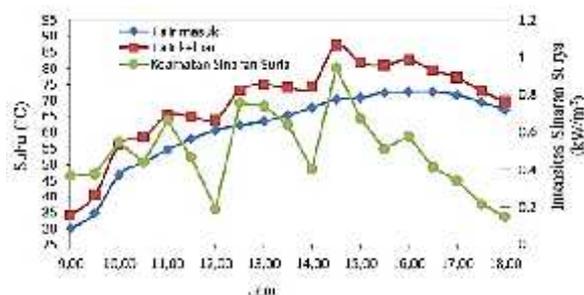


Gambar 3. Intensitas sinaran matahari pada suatu hari (16 juli 2010).

Intensitas sinar matahari pada pengujian ini adalah sebagai sumber energi utama. Jumlah sinar matahari (absorpsi dan transmision) diukur menggunakan pyranometer dan direkam setiap 5 menit dalam satuan  $W/m^2$ . Intensitas sinar matahari ditunjukkan pada gambar 3.



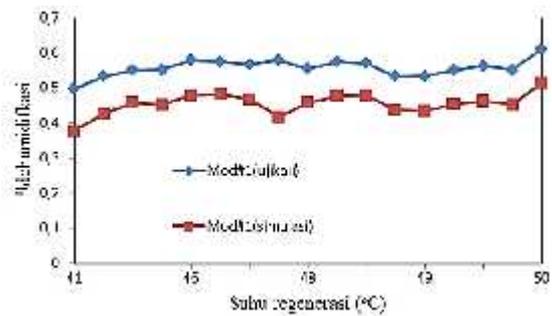
Gambar 4. Suhu udara luar dan rasio kelembapan (20 Maret 2010).



Gambar 5. Profil suhu air yang dipanaskan oleh kolektor surya dalam sehari (16 Juli 2010).

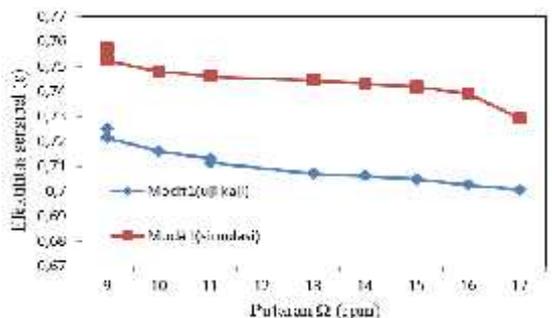
Dari gambar 5 meskipun intensitas sinar matahari tiba-tiba berkurang pada jam 12.30 karena awan yang menghalangi sinaran matahari bukan bermakna bahwa kolektor tidak dapat memanaskan air dengan  $T$  yang lebih rendah, ini terjadi karena kolektor

matahari jenis tabung kaca vakum masih dapat melakukan perpindahan panas dari penyerap (*evaporator*) ke kondensor dengan panas yang tersimpan di dalam tabung kaca. Suhu air akan bertambah apabila intensitas sinar matahari meningkat, profil suhu dalam pengujian ini ditunjukkan dalam gambar 5. Suhu rata-rata air masuk dan keluar  $61^{\circ}C$  dan  $69^{\circ}C$  berturut-turut.



Gambar 6. Efisiensi roda pengering sebagai fungsi suhu regenerasi.

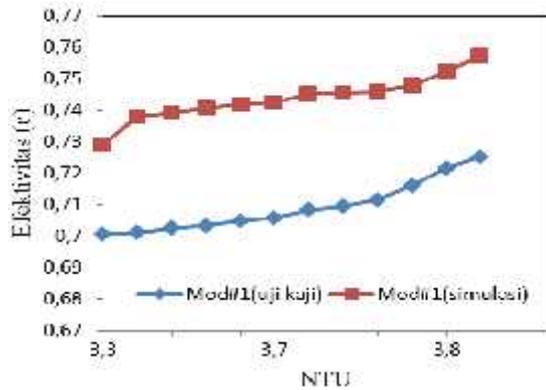
Dari gambar 6, peningkatan  $t_{reg}$  menyebabkan peningkatan dalam  $\Delta\omega$  (Ge et al 2010). Peningkatan kemampuan pengurangan kelembapan/dehumidifikasi,  $\Delta\omega$  dengan  $t_{reg}$  tidak mengimbangi kenaikan dalam tenaga regenerasi panas tertentu ( $h_{reg}-h_{out} = h_6-h_1$ ), jadi efektivitas ( $\epsilon$ ) berkurang. Khususnya, pengurangan itu lebih ketara dalam kisaran  $40-50^{\circ}C$ . Selain itu hasil eksperimen dan simulasi ini merupakan suatu kesesuaian perlu digariskan.



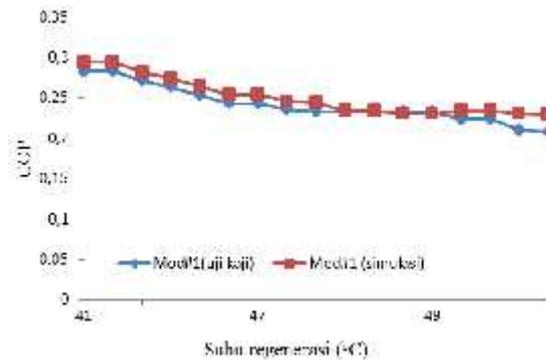
Gambar 7. Perubahan efektivitas sensibel terhadap kecepatan putaran roda pemulihan panas

Gambar 7 menunjukkan perubahan efektivitas sensibel kelajuan putaran pada roda pemulihan panas untuk bilangan panas pemindahan tetap. Pada gambar 8 corak efektivitas yang sama bagi setiap NTU adalah diperhatikan tetapi

dengan efektivitas yang lebih tinggi untuk NTU yang besar.



Gambar 8. Perubahan efektivitas terhadap NTU.



Gambar 9. COP bergantung kepada suhu regenerasi pada sistem pendinginan pengering.

COP yang lebih tinggi dapat dicapai jika udara ambien/luar digunakan untuk regenerasi. Ini dapat dijelaskan dengan kelembapan udara ambien rendah berbanding dengan kelembapan mutlak setelah keluar dari roda pengering/dehumidifikasi yang sangat mempengaruhi COP pada suhu regenerasi rendah.

## KESIMPULAN

Eksperimen dan simulasi sistem pengkondisian udara telah dilakukan sehingga didapatkan suatu kesimpulan untuk kelayakan sistem pendingin ini di iklim tropis dengan kesimpulan :

- Sifat-sifat terma-hygrotermik udara proses yang memasuki roda pengering sangat mempengaruhi prestasi roda pengering. Rasio kelembapan udara dan suhu udara regenerasi mempunyai pengaruh yang lebih besar terhadap prestasi roda pengering dibandingkan dengan suhu udara proses masuk.
- Suhu udara keluar roda pemulihan panas tergantung kepada suhu di kedua-dua saluran masuk dari regenerasi.
- Effektivitas roda pemulihan panas akan berkurang dengan meningkatnya kapasitas aliran.
- Dari hasil pengujian suhu dan kelembapan udara yang masuk ke ruang yang dikondisikan sudah memenuhi dari standar ASHRAE, yaitu 22-25°C dan kelembapan 50-60%. Jadi sistem ini layak digunakan di iklim tropis. Dengan masa pengembalian ekonomi selama 5 tahun.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] La, D., et al., 2010. Technical development of rotary desiccant dehumidification and air conditioning: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1): p. 130-147.
- [2] Hürdo an, E., et al., 2010. Experimental investigation of a novel desiccant cooling system. *Energy and Buildings*, 42(11): p. 2049-2060.
- [3] Al-Zubaydi, A.Y.T., 2011. Solar Air Conditioning and Refrigeration with Absorption Chillers Technology in Australia—An Overview on Researches and Applications. *Journal of Advanced Science and Engineering Research*, 1(1): p. 23-41.
- [4] Daou, K., R. Wang, & Z. Xia, 2006. Desiccant cooling air conditioning: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(2): p. 55-77.