

OPTIMASI UDARA PANAS KELUARAN KOLEKTOR ENERGI SURYA

Yazmendra Rosa⁽¹⁾, Hanif⁽¹⁾, Zuhendri⁽¹⁾

⁽¹⁾Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang,

ABSTRAK

Indonesia adalah negara yang memiliki intensitas penyinaran matahari yang tinggi. Hal ini dapat dimanfaatkan untuk proses pengeringan. Proses pengeringan yang banyak dilakukan adalah proses pengeringan alamiah. Proses pengeringan seperti ini mempunyai banyak kendala. Dengan berkembangnya teknologi kolektor surya, maka proses pengeringan dapat dilakukan dengan baik. Kolektor surya yang selama ini masih banyak kekurangan, maka dalam penelitian ini dicoba melakukan penelitian untuk mengoptimasi suhu keluaran kolektor surya dengan menambah luas bidang frontal radiasi surya dan memperbesar laju aliran udara yang keluar dari kolektor sehingga proses pengeringan dapat berjalan maksimal. Hasil penunjukkan bahwa udara mengalirkan secara konstan ($0,122 \text{ m}^3/\text{s}$) pada permukaan yang memiliki luas 1 m^2 , maka akan dihasilkan suhu keluaran sebesar $\pm 90,2^\circ\text{C}$.

ABSTRACT

Indonesia is one of the countries which has high intensity solar radiation. This is very useful in term to exploite solar radiation for drying processes. However, most drying processes are done naturally. This method has many constraints. By improvement of solar collector technology, the drying processes could be done more better. Unfortunately, most solar collectors still have many limitation due to generating high output temperature. Therefore, in this present study, the solar collector is tried to optimizing by enlarging area of frontal surface of solar radiation and increasing rate of air flow out in term to maximize the drying processes. Result shows that by flowing the air constantly ($0,122 \text{ m}^3/\text{s}$) on 1 m^2 surface area will generate output temperatur to approximately $90,2^\circ\text{C}$

Keywords: Solar Energy, drying and enhanced Heat transfer

1. PENDAHULUAN

Indonesia terletak pada daerah khatulistiwa yang mempunyai iklim tropik dan radiasi surya hampir sepanjang tahun. Pemanfaatan sumber energi ini secara lebih baik dan optimal membantu jalan keluar mencari energi alternatif yang bersih dan tersedia sepanjang tahun.

Energi surya adalah sumber energi yang terdapat di alam, di mana tidak bersifat polutif, tidak habis dan gratis. Energi ini tersedia dalam jumlah yang besar dan bersifat konstan ada bagi kehidupan makhluk di bumi. Untuk memanfaatkan energi surya diperlukan pengetahuan dan teknologi yang cukup tinggi agar dapat efisiensi yang lebih baik serta ekonomis.

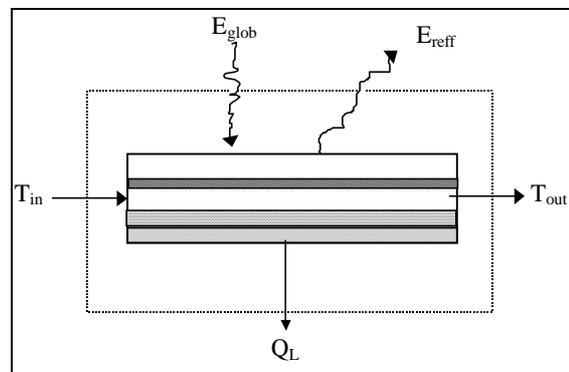
Pada kehidupan sehari-hari kita menemukan masyarakat melakukan pengeringan langsung pada sinar matahari atau memanfaatkan udara yang dipanaskan oleh sumber energi lain. Keadaan ini tentu akan lebih baik jika kita menggunakan kolektor surya yang menghasilkan temperatur udara keluaran dapat digunakan untuk pengeringan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimasikan temperatur udara keluaran kolektor surya dengan tidak menambah luas bidang frontal radiasi surya dan memperbesar laju aliran udara yang keluar dari

kolektor. Udara bertemperatur tinggi yang dihasilkan oleh kolektor dapat dimanfaatkan untuk proses pengeringan (proses yang menggunakan udara panas), serta energi surya dapat dimanfaatkan lebih maksimal (lebih baik)

2. KOLEKTOR UDARA SURYA

Kolektor surya adalah sistem pengumpul radiasi surya yang dikonversikan dalam bentuk panas oleh absorber. Panjang gelombang radiasi surya yang dapat diserap adalah $0,29$ sampai $2,5 \mu\text{m}$.



Gambar 1 Kolektor Pelat Datar

Persamaan kesetimbangan energi pada kolektor:

$$Q_a = Q_u + Q_l + Q_s \quad \dots (1)$$

Prinsip kerja kolektor adalah pelat absorber menyerap radiasi surya yang jatuh ke permukaan dan dikonversikan dalam bentuk panas, sehingga temperatur pelat tersebut menjadi naik. Panas dipindahkan ke fluida kerja yang mengalir pada pelat absorber. Perpindahan panas akan terjadi secara konduksi, konveksi dan radiasi.

Besarnya panas dari kolektor yang dapat dimanfaatkan ditentukan dari persamaan:

$$Q_u = \dot{m} c_p \Delta T \quad \dots (2)$$

maka temperatur udara yang keluar dari kolektor::

$$T_{ko} = \frac{Q_u}{\dot{m} c_p} + T_{kin} \quad \dots (3)$$

Laju Aliran Energi yang digunakan (Q_u)

Besar panas yang dapat dimanfaatkan dari absorber oleh fluida kerja udara, dipengaruhi oleh laju aliran, peningkatan suhu dan panas jenis dari fluida kerja. Keadaan ini dinyatakan dalam persamaan:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{out} - T_{in}) \quad \dots (4)$$

$$Q_u = A_k F_r [(\tau\alpha)E_{glob} - k_{eff}(T_{in} - T_{\sim})] \quad \dots(5a)$$

$$Q_u = A_k F' [(\tau\alpha)E_{glob} - k_{eff}(T_r - T_{\sim})] \quad \dots(5b)$$

dengan,

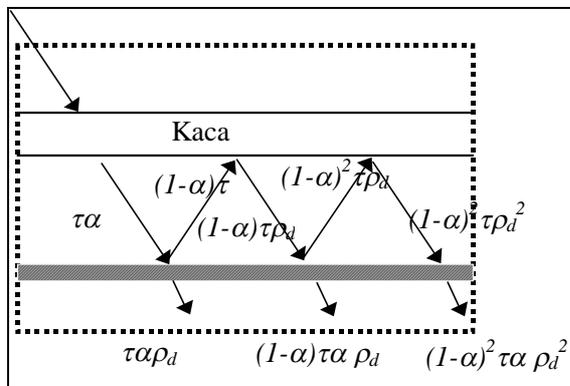
F_r = Faktor transpor panas kolektor, (0,5 - 0,8) ^[5]

F' = Faktor efisiensi kolektor, (0,8 - 0,9) ^[6].

T_r = Temperatur rata-rata antara temperatur keluar dan temperatur masuk,

Laju Energi yang Diserap (Q_a).

Kemampuan sistem kolektor untuk menerima radiasi surya menjadi panas dipengaruhi oleh harga transmisivitas (τ), kaca penutup dan harga absorpsivitas (α), dari pelat absorber.



Gambar 2 Radiasi matahari yang jatuh pada sistem kolektor

Pengaruh transmisivitas (τ) dan absorpsivitas (α) bahan disebut dengan *transmittance-absorptance product* (τ α). Proses radiasi yang sampai ke kolektor dapat dilihat pada “Gambar (1)”. ρ_d ialah harga refleksivitas dari kaca penutup.

Persamaan *transmittance absorptance product* ialah :

$$\tau\alpha^* = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1-\alpha)\rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1-(1-\alpha)\rho_d} \quad \dots (6)$$

Besar harga *transmisivitas* (τ) dan *refleksivitas* (ρ) dari suatu kaca penutup dipengaruhi oleh sudut jatuh, θ dari radiasi surya.

Persamaan panas yang dapat diserap oleh kolektor, Q_a menjadi:

$$Q_a = E_{glob} \cdot A_a \cdot \tau \cdot \alpha \quad \dots (7)$$

Efisiensi Termal Kolektor.

Efisiensi kolektor ditentukan oleh besarnya panas yang diterima kolektor (Q_{in}) terhadap panas yang dapat dimanfaatkan (Q_u). Energi yang di terima oleh kolektor yaitu:

$$Q_{in} = E_{glob} \cdot A_k \quad \dots (8)$$

maka efisiensi teoritis kolektor adalah:

$$\eta = \frac{F_r \cdot [E_{glob} \cdot A_k \cdot \tau\alpha - U_L A_k (T_r - T_{\sim})]}{E_{glob} \cdot A_k} \quad \dots(9a)$$

$$\eta = \frac{F_r \cdot [E_{glob} \cdot A_k \cdot \tau\alpha - U_L A_k (T_{in} - T_{\sim})]}{E_{glob} \cdot A_k} \quad \dots(9b)$$

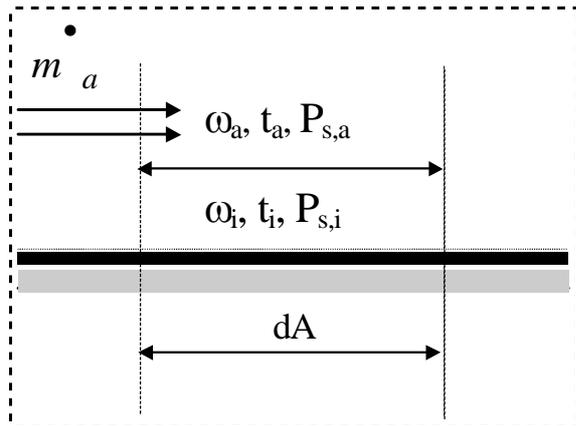
Sedangkan efisiensi aktual kolektor dapat ditulis:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_{in}} = \frac{\dot{m} \cdot C_p \cdot \Delta T}{E_{glob} \cdot A_k} \quad \dots (10a)$$

$$\eta = \frac{Q_a - Q_L}{E_{glob} \cdot A_k} \quad \dots (10b)$$

3. PROSES PENGERINGAN

Proses pengeringan terjadi dalam ruang pengering dengan mengalirkan udara bertemperatur tinggi yang keluar dari kolektor kepermukaan material yang akan dikeringkan (bahan yang akan dikeringkan). Kandungan air dari material akan menguap dan terbawa oleh aliran udara keluar. Proses penguapan yang berlangsung secara terus menerus menyebabkan material akan semakin kering. Untuk menghitung besarnya laju perpindahan panas selama proses pengeringan atau penguapan, dapat ditinjau dari suatu permukaan basah yang dilewati oleh aliran udara panas “Gambar (3)”.



Gambar 3 Permukaan basah dialiri udara

Jika udara panas mengalir melewati suatu permukaan basah, maka akan terjadi perpindahan kalor sensibel dan kalor laten secara bersamaan, dimana perpindahan kalor sensibel (q_s) terjadi bila terdapat perbedaan suhu antara udara (t_a), dan perpindahan kalor laten (q_l) terjadi bila terdapat perbedaan tekanan parsial uap air di udara ($P_{s,a}$) dengan tekanan di air ($P_{s,i}$) yang disertai oleh perpindahan massa uap air. Besarnya laju perpindahan panas yang terjadi dapat ditentukan dari persamaan berikut:

- Laju perpindahan kalor sensibel :

$$\partial q_s = h_c \cdot dA \cdot (t_a - t_i) \quad \dots (11)$$

- Laju perpindahan kalor laten:

$$\partial q_l = h_D \cdot dA \cdot (\omega_i - \omega_a) \cdot h_{fg} \quad \dots (12)$$

- Laju perpindahan kalor total:

$$\partial q_t = h_c \cdot dA \cdot (t_a - t_i) + h_D \cdot dA \cdot (\omega_i - \omega_a) \cdot h_{fg} \quad (13)$$

dengan menyederhanakan persamaan, laju perpindahan kalor total selama proses penguapan atau pengeringan dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\partial q_t = \frac{h_c \cdot dA \cdot (h_i - h_a)}{C_{pm}} \quad \dots (14)$$

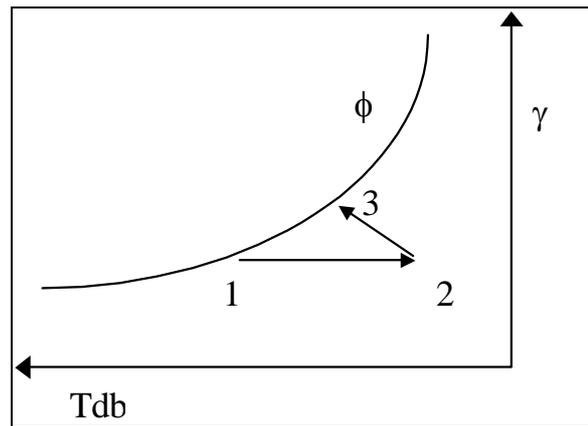
Jika besarnya massa air yang menguap diketahui, maka:

$$\partial q_t = m \cdot (h_i - h_a) \quad \dots (15)$$

dengan:

$$m = \frac{h_c \cdot dA}{C_{pm}} = \text{massa air yang menguap, kg.}$$

Skema proses sistem pengeringan secara teoritis ditunjukkan oleh “Gambar (4)”.



Gambar 4 Diagram psikrometrik sistem pengeringan kolektor surya

Pernyataan selama proses pengeringan kolektor surya adalah:

- 1 → 2 Proses pemanasan udara yang terjadi dalam kolektor surya pada kelembaban mutlak konstan.
- 2 → 3 Proses pengeringan produk atau proses pendinginan dan pelembaban udara pengering secara adiabatik.

4. METODOLOGI

Kolektor surya merupakan alat untuk mengkonversikan energi surya ke dalam energi panas. Pada absorber, radiasi surya diserap, kemudian dilalui fluida kerja udara sebagai pembawa energi panas.

Perencanaan kolektor yang akan dibahas meliputi pelat absorber, penutup transparan, isolasi, saluran udara dan rangka kolektor. Pertimbangan yang perlu diperhatikan dalam perencanaan yaitu: ekonomis, produktifitas tinggi, mudah pembuatan, kuat dan mudah dioperasikan.

Dasar Idealisasi dan Data Perencanaan

Parameter yang merupakan dasar dari perancangan kolektor surya adalah:

1. Kondisi udara masuk ke kolektor, $T_{kin}=33^{\circ}\text{C} = 306\text{K}$
2. Laju aliran massa udara, $\dot{m} = 0,01 \text{ kg/s}$ (ASHRAE 93-77)
3. Intensitas radiasi surya $E_{glob} = 1000 \text{ W/m}^2$
4. luas kolektor ditetapkan 1 m^2
5. Efisiensi Kolektor diasumsikan 70 %

Pada kolektor terjadi kehilangan panas, baik yang terjadi pada bagian atas, bawah maupun samping kolektor yang dipengaruhi oleh kecepatan angin yang mengalir pada lingkungan kolektor. Intensitas surya diasumsikan tetap setiap saat dan radiasi surya yang sampai pada permukaan pelat absorber merata serta kesetimbangan energi dalam keadaan stasioner ($\Delta U=0$).

Faktor-faktor yang mempengaruhi temperatur dan efisiensi kolektor adalah:

- Luas permukaan kolektor dan bentuk absorber.
- Intensitas radiasi matahari maksimum.
- Laju aliran massa udara
- Kecepatan udara lingkungan.
- Isolasi dan mutu pembuatan kolektor.

Perancangan Kolektor Pelat Datar

1. Perancangan Pelat Absorber

Pelat absorber berfungsi untuk menyerap radiasi surya dan mengkonversikan menjadi panas. Energi dialirkan melalui fluida kerja udara secara konveksi. Dengan mengacu fungsi absorber maka dipilih sifat bahan:

- Absorbsivitas tinggi (α)
- Emisifitas panas rendah (ε)
- Kapasitas panas kecil (C_p).
- Konduktifitas besar (k)
- Refleksi rendah (ρ)
- Tahan panas dan tahan korosi
- Kaku dan mudah dibentuk
- Harga murah

Bahan-bahan yang biasa dipakai untuk pelat pengumpul yaitu: aluminium, tembaga, kuningan, dan baja. Dalam perancangan ini digunakan aluminium sesuai pertimbangan di atas.

Aluminium yang digunakan mempunyai ketebalan 0,3 mm. Permukaannya dilakukan pelapisan dengan cat semprot hitam kusam (*Pylox Black Flat Paint 109A*), agar tidak terjadi refleksi dan mempunyai absorpsivitas maksimum.

2. Perancangan Kaca Penutup.

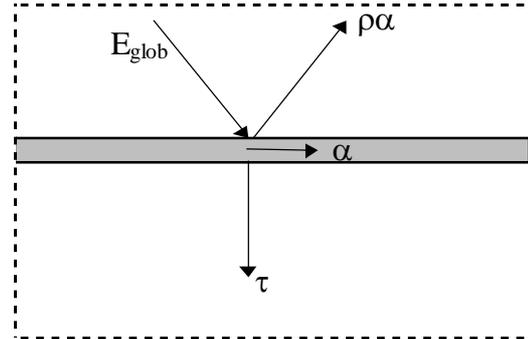
Kaca penutup berfungsi untuk meneruskan radiasi surya berupa gelombang pendek dan mencegah panas yang keluar dari kolektor ke lingkungan pada bagian atas. Berdasarkan fungsi ini maka kaca penutup harus mempunyai sifat:

- Transmisivitas tinggi (τ)
- Absorsivitas rendah (α)
- Refleksivitas rendah (ρ)
- Tahan panas
- Murah dan kuat

Dengan pertimbangan sifat di atas, maka digunakan kaca bening dengan ketebalan 5mm. *Transmisivitas kaca*, $\tau = 0,85$, refleksi $\rho = 0,09$ dan absorpsivitas $\alpha = 0,06$, maka diperoleh panas melalui kaca adalah:

$$Q = \tau \cdot E_{glob} = 0,85 \cdot 1000 \text{ Watt} / \text{m}^2 = 850 \text{ Watt} / \text{m}^2$$

Hubungan radiasi yang terjadi pada kaca dapat dilihat pada "Gambar (5)"



Gambar 5 Radiasi yang terjadi pada kaca

3. Perancangan Isolasi.

Isolasi berfungsi untuk memperkecil panas yang hilang dari kolektor ke lingkungan pada bagian belakang dan samping kolektor. Pada isolasi terjadi perpindahan panas secara konduksi sehingga kehilangan panas dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan. Isolasi yang digunakan adalah:

- Konduktifitas termal bahan (k) kecil.
- Mudah dibentuk dan praktis
- harga murah
- Tahan lama.

4. Perancangan Rangka

Fungsi rangka adalah tempat kolektor membentuk sistem yang bermanfaat. Untuk itu rangka diperlukan sifat-sifat antara lain:

- Kuat dan kaku.
- Tidak terlalu berat.
- Mudah dibentuk dan dibuat.
- Tahan lama.

5. Perancangan Saluran Udara

Saluran udara berfungsi untuk mengalirkan fluida pembawa energi pada absorber, sehingga pada fluida dan absorber terjadi perpindahan konveksi. Untuk meningkatkan perpindahan konveksi, maka perlu diperhatikan:

- Luas permukaan kontak harus besar.
- Kontak fluida dengan absorber lama.
- Aliran fluida turbulen.

6. Pemilihan Fan

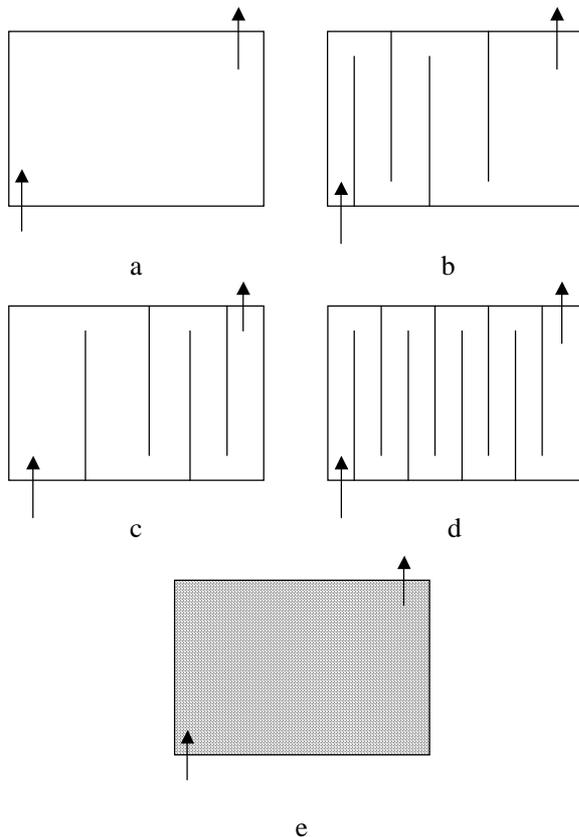
Fan berfungsi untuk mengalirkan fluida pembawa energi sesuai dengan perencanaan. Dipilih fan aksial, DC 12 Volt, dengan bervariasi tegangan listrik untuk mendapat kecepatan aliran dan laju aliran massa yang dikehendaki. ($\dot{m} = 0,01 \text{ kg/s}$).

Prosedur Pengujian.

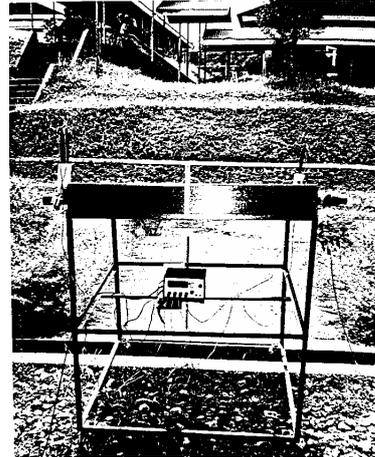
Pada pengujian dilakukan pelaksanaan kerja sebagai berikut:

1. Pengujian dilakukan dari jam 10.30 WIB sampai jam 14.00 WIB (Intensitas maksimal)

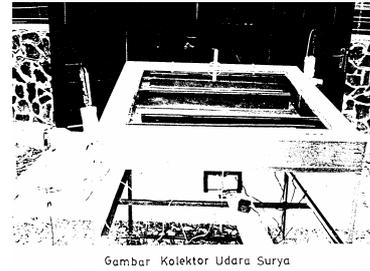
2. Periksa dan pasang semua alat ukur
3. Periksa dan isi resevoir air temperatur bola basah.
4. Hidupkan fan (tegangan 12 Volt) & catu daya untuk Thermometer Digital
5. Catat parameter yang didapat:
6. Temperatur bola basah dan temperatur bola kering udara masuk serta keluar kolektor.
7. Ulangi prosedur 5, dengan selang waktu 10 menit selama satu hari.
8. Lakukan pengujian dengan bervariasi per hari adalah:
 - a. Aliran langsung tanpa sekat pembagi saluran "Gambar (6.a)"
 - b. Aliran silang bersekat dengan jarak sekat berubah positif "Gambar (6.b)".
 - c. Aliran silang bersekat dengan jarak sekat berubah negatif "Gambar (6.c)"
 - d. Aliran silang bersekat dengan jarak sekat konstan "Gambar (6.d)"
 - e. Aliran langsung dengan penambahan luas penampang kontak udara "Gambar (6.d)".



Gambar 6 Gambar alur variasi pengujian penelitian optimasi temperatur keluaran Kolektor Surya



Gambar 7 Set-up pengujian sistem kolektor (arah utara)



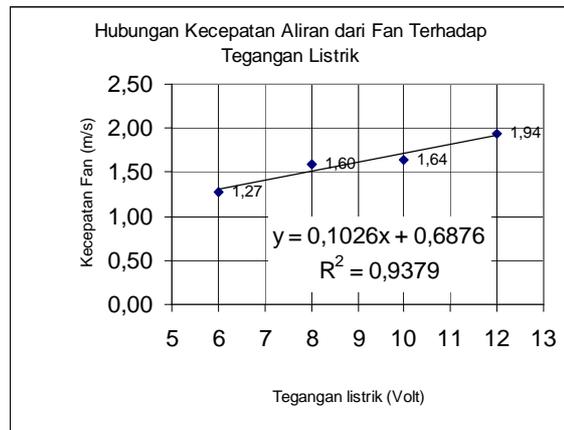
Gambar Kolektor Udara Surya

Gambar 8 Set-up pengujian sistem kolektor (arah selatan)

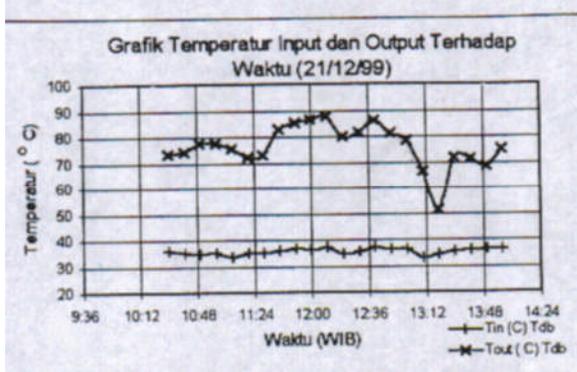
5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan setiap hari dengan mengacu pada matahari mendekati tegak lurus permukaan bumi, dimana pada keadaan ini intensitas akan maksimal yaitu: berkisar pada jam 10.30 WIB sampai dengan Jam 14.00 WIB. Pada pengolahan data diambil waktu setiap selang 10 menit. Pengujian dilakukan di daerah dekat pegunungan limau manis kampus UNAND Padang.

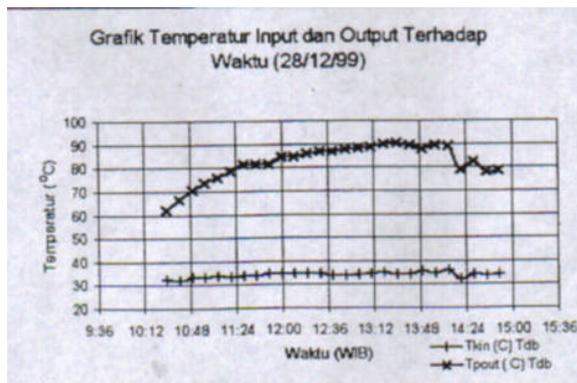
Kecepatan udara masuk kolektor pada tegangan 12 volt adalah 1,92 m/s Grafik 4.1 hubungan kecepatan aliran udara terhadap tegangan listrik (volt).



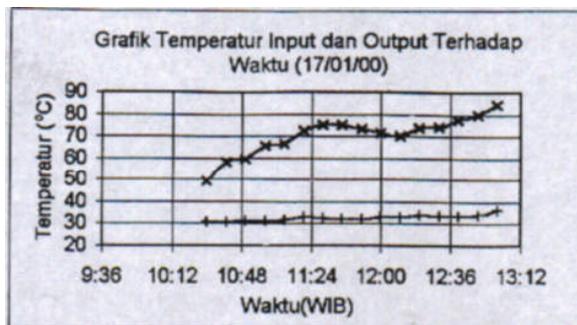
Grafik 1 Hubungan kecepatan aliran udara terhadap tegangan listrik pada Fan



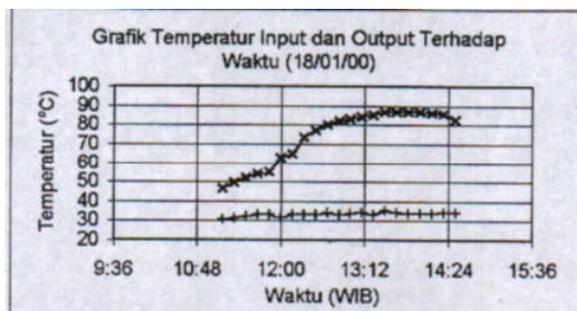
Grafik 2 Hubungan antara temperatur *input* dan *output* dengan waktu (21/12/99)



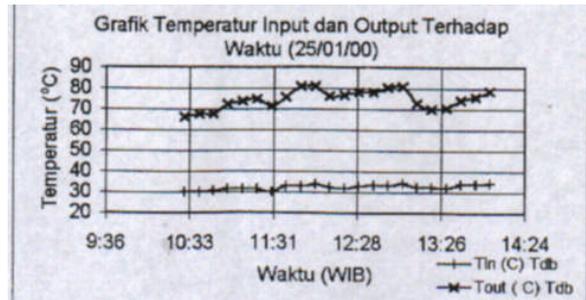
Grafik 3 Hubungan antara temperatur *input* dan *output* dengan waktu (28/12/99)



Grafik 4 Hubungan antara temperatur *input* dan *output* dengan waktu (17/01/00)



Grafik 5 Hubungan antara temperatur *input* dan *output* dengan waktu (18/01/00)



Grafik 6 Hubungan antara temperatur *input* dan *output* dengan waktu (25/01/00)

Dari hasil pengujian terlihat bahwa temperatur tertinggi dari selama penelitian didapat dari aliran silang bersekat dengan jarak sekat konstan pada tanggal 28 Desember 1999 ($90,2^{\circ}\text{C}$). Setelah memperhatikan terhadap data pengujian, intensitas surya dan kecepatan udara lingkungan sangat berperan sekali, maka oleh sebab itu temperatur tertinggi yang bisa dihasilkan kolektor adalah aliran silang bersekat dengan jarak sekat berubah positif, karena kondisi ini bisa dilihat selama 3 hari pengujian dengan kondisi cuaca kurang baik (cerah berawan dan berawan) masih menghasilkan temperatur keluaran $84,6^{\circ}\text{C}$ (tgl 17 Januari 2000, Jam 13.00 WIB).

Pada aliran langsung dengan penambahan luas penampang kontak udara tanpa sekat, jika dibandingkan dengan tanpa penambahan luas penampang kontak udara (sirip) dapat diketahui bahwa temperatur keluaran lebih tinggi karena luas bidang kontak semakin besar yang dapat menaikkan perpindahan panas konveksi dari absorber dengan fluida kerja udara, lihat pada data tanggal 27 Desember 1999, 21 Desember 1999 dengan 25 Januari 2000.

Pada aliran jarak sekat berubah positif, waktu kontak akan menjadi lama jika dibandingkan dengan jarak sekat berubah negatif karena udara yang dipanaskan akan berkurang kecepatannya dengan aliran massa konstan, sehingga makin panjang lintasan dengan penampang makin membesar maka makin lama kontak udara dengan absorber.

6. PENUTUP

Setelah melihat hasil data pengujian selama penelitian berlangsung maka dapat disimpulkan:

- Susunan sekat dan penambahan luas penampang kontak (sirip) mempengaruhi hasil keluaran temperatur maksimum udara.
- Aliran silang bersekat konstan menghasilkan temperatur keluaran $90,2^{\circ}\text{C}$ pada cuaca cerah lebih tinggi dari aliran langsung tanpa sekat.
- Kecepatan udara lingkungan sangat berpengaruh pada kolektor terhadap temperatur maksimum yang dapat dihasilkannya.

- Kolektor yang mempunyai aliran silang bersekat dengan jarak sekat berubah positif menghasilkan temperatur udara keluaran kolektor optimal ditambah dengan penambahan luas bidang kontak udara absorber (sirip).
- Kolektor udara surya dapat dimanfaatkan untuk sumber energi dalam proses pengeringan (bergantung temperatur bahan yang dizinkan)

Untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan:

- Menentukan unjuk kerja kolektor dengan menaikan temperatur udara input terhadap hasil temperatur udara keluaran.

PUSTAKA

1. Anderson, Edward E., *Fundamental of Solar Energi Conversion*, Addison-Wesley Publishing Company, California, 1982.
2. Dickinson, William C & Cheremisinoff, Paul N., *Solar Energy Technology Handbook Part A*, Marcel Dekker, New York, 1980.
3. Dufie, John A., & Beckman, William A., *Solar Energy Thermal Processes*, John Wiley & Sons, New York, 19...
4. Havendri, Adly., Rosa, Yazmendra & Hanif., "Alat Pemanas Energi Surya Untuk Pengering Kulit Manis", Jurnal TeknikA No. 7 Tahun IV April 1997, 0854-8471.
5. Rohsenow,warren M., Hartnett, James P & Ganic,Ejup N, *Handbook of Heat Transfer Applications*, McGraw-Hill, New York, 1985.
6. Stoecker, Wilbert F., & Jerols, W. Jones, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Erlangga, Jakarta, 1992
7. Zainuddin, Dahnil., *Solar Teknik 1 & 2*, Universitas Andalas, Padang, 1990.