

# ANALISIS UNJUK KERJA KOLEKTOR UDARA PENGERING KAYU BERSUMBER ENERGI SURYA - BIOMASSA

M. Sumarsono, Rivai Mustafa

B2TE, BPPT, Puspiptek-Serpong, Tangerang 15314

## Abstract

A solar air-heating collector having a surface area of  $230.4 \text{ m}^2$  has been installed and integrated to a drying chamber to dry wood of  $100 \text{ m}^3$ . The collector was classified as a matrix type collector with its absorber was made from black carbon fiber sheet. Collector worked together with a biomass boiler to supply heat to drying chamber. The test results indicated that the thermal efficiencies of collector per batch were around 20%–31%.

**Kata kunci:** kolektor udara, energi surya, efisiensi termal, jadwal pengeringan

## 1. PENDAHULUAN

Untuk mengubah energi radiasi surya ke bentuk energi lain yang lebih bermanfaat diperlukan suatu alat pengumpul panas yang disebut kolektor surya. Dalam hal penggunaan kolektor surya di daerah dengan radiasi matahari baur tinggi seperti di Indonesia karena langitnya yang selalu berawan, maka kolektor jenis pelat datar (*non-concentrating flat plate collector*) lebih sesuai diterapkan daripada kolektor jenis konsentrator (*concentrating collector*). Di samping itu untuk keperluan pengeringan kayu, kolektor pelat datar sudah cukup mampu memberikan kenaikan temperatur yang diperlukan.

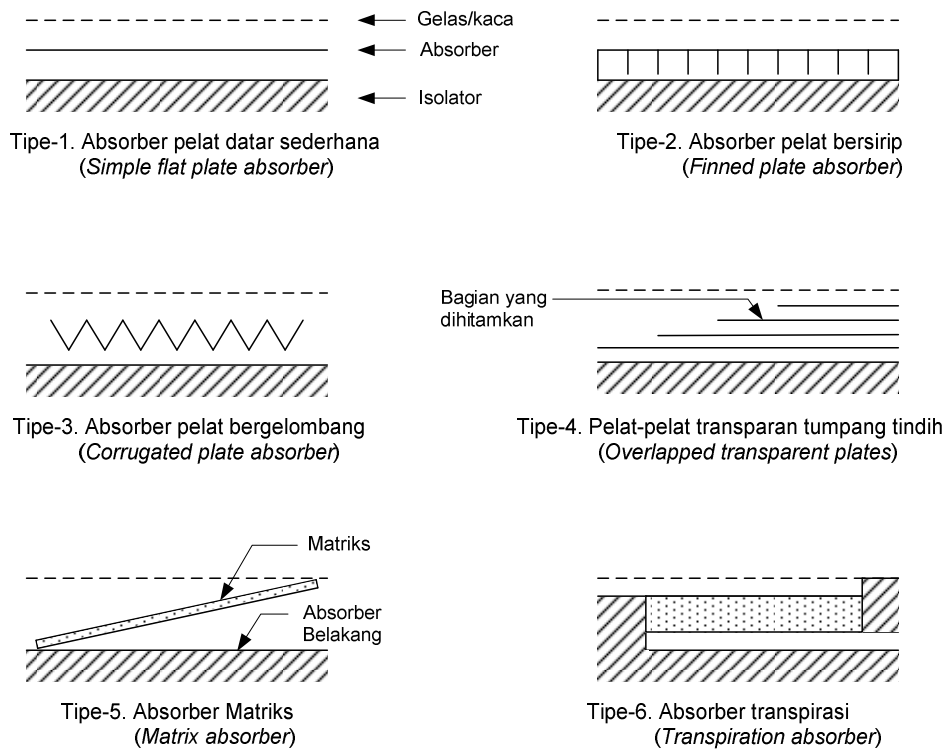
Komponen dasar kolektor pelat datar pemanas udara (secara singkat disebut kolektor udara) terdiri atas empat komponen utama yaitu penyerap (*absorber*) yang menerima radiasi surya, saluran udara yang salah satu sisinya dibatasi oleh *absorber*, penutup atas transparan yang biasanya terbuat dari kaca, dan isolator panas. Bila diinginkan laju alir udara yang relatif besar, maka harus ditambahkan kipas (*fan*) untuk meniup atau mengalirkan udara melewati saluran udara kolektor. Hampir setiap permukaan yang dihitamkan dan dipanaskan oleh matahari akan mentransfer panas ke udara ketika udara dihembuskan di atasnya. Mekanisme perpindahan panas seperti ini memungkinkan penggunaan berbagai macam konfigurasi permukaan *absorber*.

Suatu sistem kolektor udara dengan luasan  $230,4 \text{ m}^2$  telah berhasil dibuat sebagai piranti pemasok panas dari suatu alat pengering kayu yang berkapasitas  $100 \text{ m}^3$ . Kolektor yang terpasang terintegrasi dengan ruang pengering tersebut telah diujicoba dalam suatu rangkaian pengujian pengeringan kayu dan dari hasil analisa akan dapat diketahui efisiensi termalnya. Selain dari kolektor udara, pasokan panas juga berasal dari boiler uap-air yang berbahan bakar biomassa.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Tipe Kolektor berdasar Konfigurasi Absorber

Udara mempunyai densitas yang rendah, sehingga kolektor memerlukan volume udara yang relatif besar bila dibandingkan dengan jumlah volume cairan yang diperlukan untuk mengumpulkan jumlah panas yang sama. Di samping itu udara memiliki kapasitas termal yang rendah. Karena sifatnya yang kurang menguntungkan ini, maka proses perpindahan panas dari *absorber* ke udara bisa jadi tidak optimum bila perancangan kolektor tidak tepat. Berbagai konfigurasi *absorber* telah dikembangkan dengan tujuan untuk meningkatkan perpindahan panas tersebut, dan terdapat enam tipe *absorber* yang sering digunakan pada perancangan kolektor (Sheven, 1977) seperti diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tipe Absorber pada Kolektor Pemanas Udara

Berdasar tipe absorber tersebut, maka absorber secara garis besar dapat diklasifikasikan ke dalam dua kategori. Kategori pertama, biasanya dikenal sebagai absorber tidak berpori-pori, sehingga aliran udara mengalir tidak menembus material absorber. Udara dapat mengalir di atas, di bawah, atau di atas dan bawah pelat absorber. Kategori kedua dikenal sebagai bed absorber berpori-pori dimana udara mengalir menembus material absorber.

## 2.2. Perhitungan Energi

Parameter-parameter terukur yang terlibat di dalam perhitungan energi panas yang dapat dibangkitkan oleh kolektor meliputi: Temperatur udara masuk ( $t_i$ ), temperatur udara keluar ( $t_o$ ), kelembaban udara masuk ( $RH_i$ ), kelembaban udara keluar ( $RH_o$ ), dan kecepatan udara melalui saluran udara ( $v_a$ ). Selanjutnya energi panas tersebut dihitung berdasar persamaan-persamaan di bawah ini (Yamada, 1998).

Laju alir massa udara,  $\dot{m}_a$ , dihitung sebagai berikut:

$$\dot{m}_a = (\pi \times 0,2 \times 0,2) \times v_a \times \frac{60}{v_a} \text{ kg/min} \quad (1)$$

dengan  $v_a$  volume jenis udara basah dihitung dengan persamaan (2):

$$v_a = \frac{2,153}{(760 - p_a)} \times (t_o + 273) \text{ m}^3/\text{kg} \quad (2)$$

Di sini  $p_a$  adalah tekanan uap air yang dihitung sebagai berikut:

$$p_a = p_s \times \frac{RH_o}{100} \text{ mmHg} \quad (3)$$

dengan tekanan uap air jenuh,  $p_s$ , dinyatakan menurut persamaan:

$$p_s = 18 + 0,00018 \times (t_o)^{3,3} \text{ mmHg, untuk } 35^\circ C \leq t_o \leq 90^\circ C \quad (4)$$

Panas jenis udara basah,  $C_p$ , dapat dihitung dengan :

$$C_p = 0,24 + \frac{0,274 \times p_a}{760 - p_a} \text{ kcal/kg.K} \quad (5)$$

Energi panas yang dapat dibangkitkan oleh kolektor dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_a \times C_p \times (t_o - t_i) \quad \text{kcal/min} \quad (6)$$

Energi panas yang diserap oleh kolektor seluas 230,4 m<sup>2</sup> dirumuskan sebagai berikut :

$$\dot{Q}_i = G_t \times 230,4 \times \frac{860}{60} \quad \text{kcal/min} \quad (7)$$

Di sini  $G_t$  adalah iradiasi surya. Efisiensi termal kolektor dihitung dengan persamaan-persamaan berikut ini:

Untuk efisiensi termal sesaat:

$$\eta_c = \frac{\dot{Q}_o}{\dot{Q}_i} \times 100 \% \quad (8)$$

Untuk efisiensi termal pada selang (kurun) waktu,  $\Delta time$ , tertentu:

$$\eta_c = \frac{\sum \dot{Q}_o}{\sum \dot{Q}_i} \times 100 \% \quad (9)$$

Bila  $\Delta time$  dalam selang harian, misal dari jam 06:00 sampai dengan 18:00, maka efisiensi termal disebut 'efisiensi termal harian' ( $\eta_{c.harian}$ ). Sedang bila  $\Delta time$  dalam selang waktu pengeringan per-*batch* atau per-pemuatan kayu (untuk kayu meranti umumnya 15 hari per-*batch*), maka efisiensi termal kolektor disebut 'efisiensi termal total' ( $\eta_{c.total}$ ). Jadi, kedua efisiensi termal tersebut secara berturutan dirumuskan sebagai berikut:

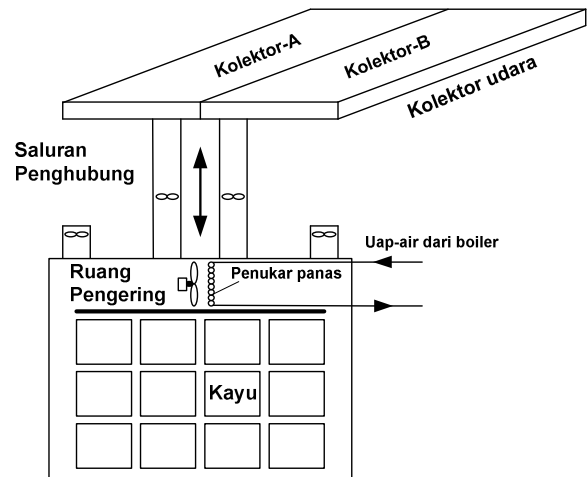
$$\eta_{c.harian} = \frac{\sum_{\text{harian}} \dot{Q}_o}{\sum_{\text{harian}} \dot{Q}_i} \times 100 \% \quad (10)$$

$$\eta_{c.total} = \frac{\sum_{\text{batch}} \dot{Q}_o}{\sum_{\text{batch}} \dot{Q}_i} \times 100 \% \quad (11)$$

### 2.3. Deskripsi Kolektor Udara

Kolektor udara yang dibahas terdiri dari dua unit, yaitu kolektor-A dan kolektor-B, dengan bahan dan konfigurasi yang persis sama, dipasang di atas atap ruang pengering, masing-masing sisi *inlet* dan *outlet*nya dihubungkan langsung ke dalam ruang pengering oleh susunan saluran penghubung (Gambar 2). Aliran udara digerakkan oleh dua

buah kipas kolektor, dengan demikian udara dapat mengalir secara terus menerus mengikuti suatu lup ruang pengering → kolektor → ruang pengering sehingga temperaturnya menjadi makin tinggi. Sedang pasokan panas yang berasal dari *steam boiler* diperoleh dengan membakar bahan bakar biomassa berupa limbah kayu Meranti.

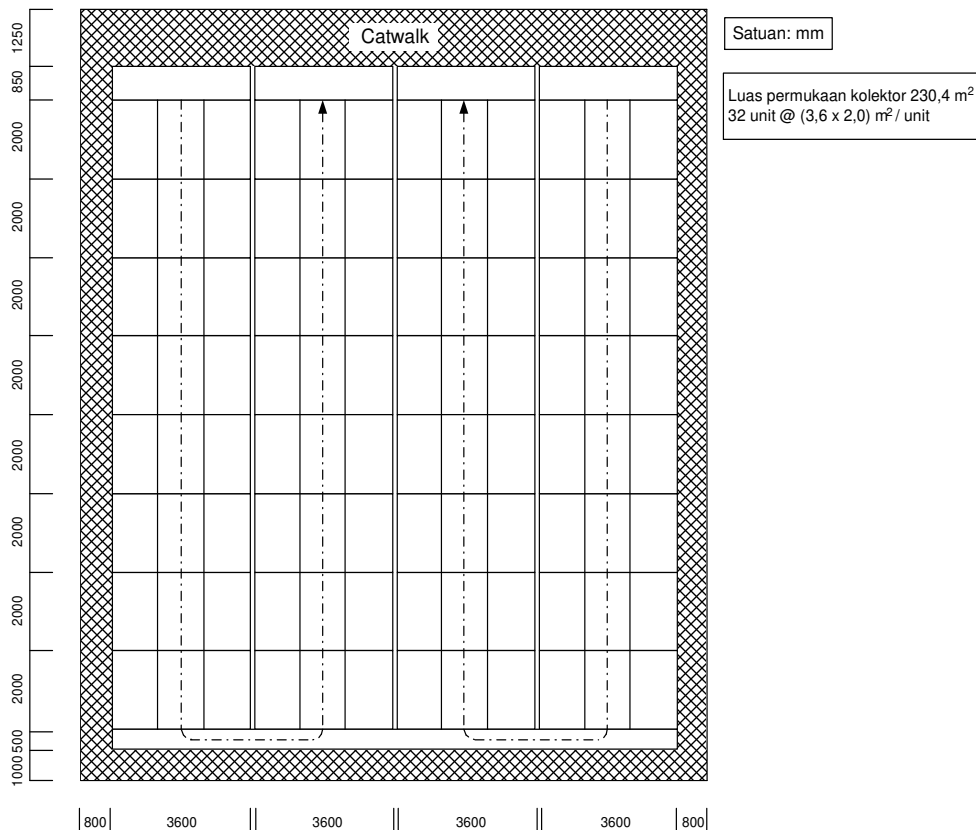


Gambar 2. Skema Kolektor dan Ruang Pengering

Tabel 1. Spesifikasi Teknis Kolektor Udara

SPESIFIKASI TEKNIS KOLEKTOR UDARA	
Jumlah kolektor	2 unit, kolektor A dan B
Luas permukaan 1 unit kolektor	115,2 m <sup>2</sup>
Luas permukaan total kolektor	230,4 m <sup>2</sup>
Material penyerap ( <i>absorber</i> )	Serat karbon ( <i>pitch based carbon fiber</i> )
Material tutup atas ( <i>cover</i> )	Kaca temper tebal 5 mm, lapis dua, translusens
Kipas kolektor	2 unit @ 120 m <sup>3</sup> /min, 0,75 kW/unit
Diameter saluran udara	400 mm

Secara ringkas spesifikasi teknis kolektor ditunjukkan seperti Tabel 1. Secara garis besar penampang kolektor diperlihatkan seperti Gambar 3 dan sesuai dengan konfigurasi *absorber* yang dipakai dapat diklasifikasikan sebagai kolektor dengan *absorber* matriks, tipe-5 (Anonymous, 1994; Tanaka, 1998).



Gambar 3. Kolektor Udara

## 2.4. Metoda Pengukuran dan Perhitungan

Pengukuran dan pengumpulan data dilakukan terhadap enam percobaan pengeringan kayu Meranti, masing-masing selama  $\pm 15$  hari yaitu sampai dengan kayu menjadi kering menurut kadar air yang dipersyaratkan. Keenam percobaan pengeringan kayu tersebut adalah :

- PERCOBAAN-1 dari 18/05/98 s.d. 01/06/98.
- PERCOBAAN-2 dari 03/07/98 s.d. 17/07/98.
- PERCOBAAN-3 dari 14/08/98 s.d. 28/08/98.
- PERCOBAAN-4 dari 12/09/98 s.d. 26/09/98.
- PERCOBAAN-5 dari 13/10/98 s.d. 27/10/98.
- PERCOBAAN-6 dari 28/11/98 s.d. 12/12/98.

Kepada udara yang masuk ke dalam kolektor dilakukan pengukuran temperatur ( $t_i$ ), kelembaban relatif ( $RH_i$ ) dan kecepatannya ( $v_a$ ). Sedang di sisi *outlet* kolektor, dilakukan pengukuran temperatur ( $t_o$ ) dan kelembaban relatifnya ( $RH_o$ ). Pada waktu yang bersamaan, diukur pula temperatur ambien ( $t_{amb}$ ) dan fluks radiasi surya ( $G_i$ ). Selang waktu pengukuran ditetapkan 1 menit, memakai *data logging system* yang didesain dan dibuat oleh perusahaan Chino dengan perangkat lunak CISAS. Alat ukur yang dipakai adalah *piranometer*

tipe MS-42 (0-1200 W/m<sup>2</sup>) untuk mengukur fluks iradiasi surya, termokopel tipe Pt100 (-50–250°C) mengukur temperatur, dan *anemometer* merk SATO, SK27V (0–40 m/s) mengukur kecepatan udara. Kelembaban relatif diukur dengan menggunakan kombinasi temperatur bola basah dan bola kering.

Menggunakan data-data tersebut di atas, dimensi kolektor dan dimensi saluran penghubung, maka dapat dihitung energi panas harian dan siklus yang dibangkitkan oleh kolektor, dan energi panas harian dan siklus yang diserap oleh kolektor serta efisiensi termalnya menggunakan persamaan (1) sampai dengan persamaan (11).

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

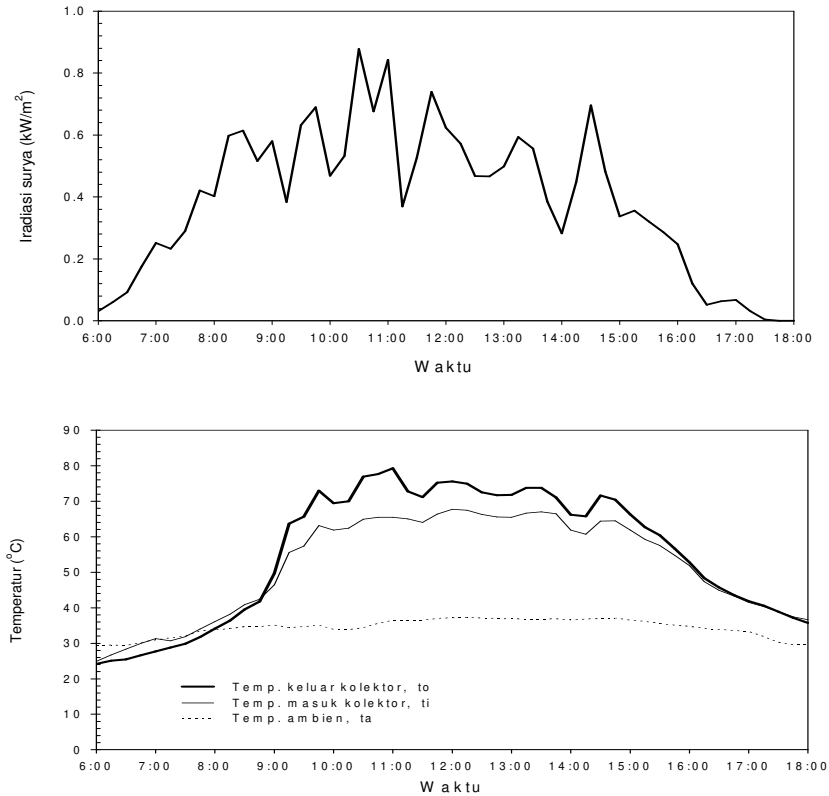
Sampel data hasil pengukuran iradiasi surya, temperatur ambien, temperatur dan kelembaban udara pemanas serta kecepatannya diberikan pada Tabel 3. Juga disajikan hasil perhitungan energi per satuan waktu yang dibangkitkan oleh kolektor-A. Pada tabel tersebut,  $Q_{oAB}$  adalah jumlah  $Q_{o-A} + Q_{o-B}$ .

Tabel 3. Sampel Perhitungan Energi Panas Kolektor pada 26/09/98

Waktu	$G_t$ kW/m <sup>2</sup>	$T_{amb}$ °C	$V_{a-A}$ m/s	$t_{i-A}$ °C	$RH_{i-A}$ %	$t_{o-A}$ °C	$RH_{o-A}$ %	$C_{p-A}$ kcal/kgK	$m_{a-A}$ kg/min	$Q_{o-A}$ kcal/min	$Q_{o-B}$ kcal/min	$Q_{o-AB}$ kcal/min	$Q_{i-AB}$ kcal/min
6:00	0.031	29.4	0.0	24.9	88.5	24.2	76.8	0.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
6:15	0.060	29.5	0.1	26.7	92.9	25.1	74.3	0.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
6:30	0.092	29.4	0.1	28.3	96.4	25.5	75.1	0.2	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
6:45	0.175	30.2	0.1	30.0	96.4	26.6	74.7	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
7:00	0.251	31.0	0.1	31.3	97.4	27.7	75.9	0.2	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7:15	0.233	31.5	0.0	30.7	93.4	28.8	76.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
7:30	0.290	32.1	0.0	31.9	93.9	29.9	75.7	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7:45	0.421	33.5	0.0	34.0	94.6	31.8	77.0	0.2	0.3	0.0	0.4	0.4	0.0
8:00	0.402	33.8	0.1	36.1	94.7	34.1	73.7	0.3	0.8	0.0	1.1	1.1	0.0
8:15	0.598	34.1	0.1	38.2	92.7	36.4	73.5	0.3	0.7	0.0	3.1	3.1	0.0
8:30	0.614	34.7	0.1	40.9	89.1	39.5	69.6	0.3	0.7	0.0	5.7	5.7	0.0
8:45	0.516	34.7	0.1	42.4	85.4	41.8	64.6	0.3	0.7	0.0	6.8	6.8	0.0
9:00	0.580	35.1	1.9	46.5	67.1	49.7	48.6	0.3	13.1	485.5	506.7	992.2	9907.2
9:15	0.384	34.4	4.1	55.6	32.9	63.7	20.0	0.3	27.5	876.4	563.7	1440.1	17766.9
9:30	0.632	34.7	3.6	57.4	28.2	65.7	17.5	0.3	24.0	790.4	598.3	1388.7	29540.0
9:45	0.689	35.1	10.3	63.1	20.0	73.0	11.9	0.3	68.2	2576.0	2397.1	4973.2	34127.0
10:00	0.468	33.9	5.9	61.9	20.2	69.4	13.4	0.3	39.3	1127.7	1089.4	2217.1	20293.2
10:15	0.533	33.8	6.9	62.4	26.9	70.0	17.2	0.3	45.5	1368.6	1334.2	2702.7	24725.1
10:30	0.878	34.4	13.9	64.9	26.4	76.9	14.1	0.3	89.3	4104.8	3775.6	7880.4	43492.6
10:45	0.676	35.6	14.1	65.5	24.6	77.7	13.0	0.3	90.3	3949.8	3454.9	7404.7	31244.0
11:00	0.842	36.5	14.5	65.5	24.2	79.3	12.0	0.3	92.9	4904.8	4282.6	9187.4	41692.8
11:15	0.369	36.5	9.0	65.0	24.8	72.8	15.8	0.3	58.4	1938.8	1846.7	3785.5	16066.2
11:30	0.526	36.5	8.6	64.0	26.7	71.2	17.4	0.3	56.5	1639.5	1368.1	3007.7	24668.9
11:45	0.739	37.0	12.8	66.4	23.8	75.2	14.5	0.3	82.8	2813.1	2398.1	5211.2	36587.3
12:00	0.624	37.2	10.8	67.7	22.6	75.6	14.4	0.3	69.8	2125.2	1710.9	3836.1	30907.2
12:15	0.572	37.3	9.2	67.5	23.2	74.9	14.9	0.3	59.3	1777.9	1448.9	3226.8	25108.1
12:30	0.467	37.1	5.2	66.3	25.4	72.5	17.2	0.3	33.8	837.9	609.7	1447.7	15323.1
12:45	0.466	37.0	4.2	65.6	26.9	71.7	18.3	0.3	27.3	657.1	295.3	1152.3	16928.1
13:00	0.499	36.9	5.6	65.5	27.6	71.8	18.7	0.3	36.5	848.8	699.0	1547.9	18239.2
13:15	0.593	36.8	8.0	66.7	26.2	73.8	17.2	0.3	51.5	1414.5	1171.4	2585.9	29384.8
13:30	0.556	36.8	6.9	67.0	25.8	73.8	17.1	0.3	44.7	1210.3	996.7	2206.9	23949.0
13:45	0.385	36.9	5.1	66.5	27.9	71.1	19.5	0.3	32.9	724.7	590.4	1315.1	14144.2
14:00	0.283	36.6	1.5	61.9	33.1	66.2	24.3	0.3	10.1	172.2	156.8	328.9	6687.4
14:15	0.448	36.8	3.2	60.7	25.7	65.8	25.3	0.3	21.3	483.0	462.0	945.0	16135.5
14:30	0.696	37.0	10.4	64.4	29.8	71.6	19.2	0.3	67.3	1916.6	1631.7	3548.3	34483.7
14:45	0.482	37.1	6.0	64.5	28.8	70.4	19.7	0.3	39.1	939.9	795.6	1735.5	18298.6
15:00	0.337	36.5	2.4	61.9	33.3	66.3	24.3	0.3	15.5	262.5	267.1	529.5	6872.3
15:15	0.356	36.2	2.1	59.3	38.5	62.7	28.9	0.3	13.7	187.6	170.9	358.5	7681.4
15:30	0.321	35.6	0.8	57.5	42.7	60.4	32.9	0.3	5.0	56.8	67.2	124.0	3289.2
15:45	0.286	35.1	1.4	54.8	49.2	56.6	39.4	0.3	9.3	66.1	67.2	133.3	2242.3
16:00	0.248	34.8	0.7	51.9	58.1	52.8	47.1	0.3	4.7	16.7	12.0	28.8	716.6
16:15	0.120	34.2	0.2	47.4	71.5	48.4	56.8	0.3	1.6	6.2	1.4	7.6	0.0
16:30	0.052	33.9	0.1	44.9	78.7	45.7	58.8	0.3	0.8	2.6	1.2	3.7	0.0
16:45	0.063	33.6	0.1	43.3	81.7	43.6	60.4	0.3	0.7	0.8	1.2	2.0	0.0
17:00	0.068	33.3	0.1	41.5	85.2	41.9	62.8	0.3	0.7	0.8	1.1	2.0	0.0
17:15	0.031	31.9	0.1	40.3	87.7	40.6	65.4	0.3	0.7	0.8	1.5	2.3	0.0
17:30	0.005	30.3	0.1	38.9	90.3	38.9	69.5	0.3	0.7	0.1	1.1	1.1	0.0
17:45	0.000	29.6	0.1	37.5	93.3	37.2	73.0	0.3	0.8	0.0	1.2	1.2	0.0
18:00	0.000	29.6	0.1	36.6	95.2	35.7	75.6	0.3	0.9	0.0	2.8	2.8	0.0
Total - harian ( $\sum_{\text{harian}} Q_o$ dan $\sum_{\text{harian}} Q_i$ ) =												75284	600502

Plot temperatur udara masuk dan keluar kolektor selama satu hari penyinaran matahari, sebagai contoh diberikan pada Gambar 4. Tampak bahwa profil temperatur udara mengikuti bentuk profil iradiasi surya, ini berarti kemampuan kolektor

untuk menyimpan panas rendah. Temperatur udara keluar kolektor dapat mencapai 80°C di saat tengah hari dan kenaikan temperaturnya mencapai hingga 17°C.



Gambar 4. Profil Radiasi Surya dan Temperatur Udara pada 26/09/98

Tabel 4. Energi Panas pada PERCOBAAN-1  
18/05/98 s.d. 01/06/98

Tanggal	$\sum Q_o$ harian (kcal)	$\sum Q_i$ harian (kcal)	$\eta_{c.harian}$ (%)
18/05/98	300.945	609.190	49,4
19/05/98	353.224	850.368	41,5
20/05/98	156.758	406.975	38,5
21/05/98	195.023	597.820	32,6
22/05/98	91.256	336.577	27,1
23/05/98	171.876	526.459	32,6
24/05/98	185.534	620.055	29,9
25/05/98	158.136	513.437	30,8
26/05/98	221.476	729.642	30,4
27/05/98	77.711	326.953	23,8
28/05/98	105.701	538.839	19,6
29/05/98	543	5234	10,4
30/05/98	88.337	496.833	17,8
31/05/98	69.066	412.175	16,8
01/06/98	76.363	421.323	18,1
$\sum_{batch} =$	2.251.949	7.390.980	
$\eta_{c.total} = \sum_{batch} Q_o / \sum_{batch} Q_i = 30,5\%$			

Tabel 6. Energi Panas pada PERCOBAAN-3  
14/08/98 s.d. 28/08/98

Tanggal	$\sum Q_o$ harian (kcal)	$\sum Q_i$ harian (kcal)	$\eta_{c.harian}$ (%)
14/08/98	40.848	158.535	25,8
15/08/98	156.878	561.421	27,9
16/08/98	173.159	585.509	29,6
17/08/98	217.117	720.164	30,1
18/08/98	112.634	523.635	21,5
19/08/98	219.161	818.632	26,8
20/08/98	19.484	179.588	10,8
21/08/98	7268	73.043	10,0
22/08/98	56.442	399.092	14,1
23/08/98	98.331	567.498	17,3
24/08/98	60.429	546.280	11,1
25/08/98	13.003	172.778	7,5
26/08/98	9630	200.228	4,8
27/08/98	48.845	509.375	9,6
28/08/98	11.208	224.808	5,0
$\sum_{batch} =$	1.244.437	6.240.586	
$\eta_{c.total} = \sum_{batch} Q_o / \sum_{batch} Q_i = 19,9\%$			

Tabel 5. Energi Panas pada PERCOBAAN-2  
03/07/98 s.d. 17/07/98

Tanggal	$\sum_{\text{harian}} Q_o$ (kcal)	$\sum_{\text{harian}} Q_i$ (kcal)	$\eta_{c.\text{harian}}$ (%)
03/07/98	8459	28.146	30,1
04/07/98	249.983	679.908	36,8
05/07/98	66.897	222.397	30,1
06/07/98	116.868	490.872	23,8
07/07/98	53.075	208.999	25,4
08/07/98	5361	51.319	10,4
09/07/98	64.270	332.066	19,4
10/07/98	-	-	-
11/07/98	9632	110.145	8,7
12/07/98	12.099	162.954	7,4
13/07/98	165.480	746.451	22,2
14/07/98	75.517	525.227	14,4
15/07/98	104.230	581.843	17,9
16/07/98	68.307	475.272	14,4
17/07/98	58.318	440.144	13,2
$\sum_{\text{batch}} =$	1.058.496	5.055.743	
$\eta_{c.\text{total}} = \sum_{\text{batch}} Q_o / \sum_{\text{batch}} Q_i = 20,9\%$			

Tabel 8. Energi Panas pada PERCOBAAN-5  
13/10/98 s.d. 27/10/98

Tanggal	$\sum_{\text{harian}} Q_o$ (kcal)	$\sum_{\text{harian}} Q_i$ (kcal)	$\eta_{c.\text{harian}}$ (%)
13/10/98	132.542	193.283	<b>68,6</b>
14/10/98	208.491	695.277	30,0
15/10/98	208.207	564.621	36,9
16/10/98	292.150	839.823	34,8
17/10/98	120.373	614.336	19,6
18/10/98	107.905	424.514	25,4
19/10/98	123.177	504.121	24,4
20/10/98	15.874	231.373	6,9
21/10/98	37.181	213.309	17,4
22/10/98	122.186	521.462	23,4
23/10/98	102.177	602.173	17,0
24/10/98	80.849	436.297	18,5
25/10/98	1158	25.861	4,5
26/10/98	10.080	156.577	6,4
27/10/98	52.834	494.052	10,7
$\sum_{\text{batch}} =$	1.615.184	6.517.079	
$\eta_{c.\text{total}} = \sum_{\text{batch}} Q_o / \sum_{\text{batch}} Q_i = 24,8\%$			

Tabel 7. Energi Panas pada PERCOBAAN-4  
12/09/98 s.d. 26/09/98

Tanggal	$\sum_{\text{harian}} Q_o$ (kcal)	$\sum_{\text{harian}} Q_i$ (kcal)	$\eta_{c.\text{harian}}$ (%)
12/09/98	332.588	563.941	<b>59,0</b>
13/09/98	88.314	271.282	32,6
14/09/98	375.637	900.300	41,7
15/09/98	332.216	963.251	34,5
16/09/98	338.411	899.253	37,6
17/09/98	70.940	259.443	27,3
18/09/98	272.559	828.893	32,9
19/09/98	44.919	174.862	25,7
20/09/98	88.478	339.704	26,0
21/09/98	30.545	198.104	15,4
22/09/98	155.336	681.893	22,8
23/09/98	53.310	336.085	15,9
24/09/98	365	8335	<b>4,4</b>
25/09/98	89.158	533.424	16,7
26/09/98	600.502	600.502	12,5
$\sum_{\text{batch}} =$	2.348.060	7.559.272	
$\eta_{c.\text{total}} = \sum_{\text{batch}} Q_o / \sum_{\text{batch}} Q_i = 31,1\%$			

Tabel 9. Energi Panas pada PERCOBAAN-6  
28/11/98 s.d. 12/12/98

Tanggal	$\sum_{\text{harian}} Q_o$ (kcal)	$\sum_{\text{harian}} Q_i$ (kcal)	$\eta_{c.\text{harian}}$ (%)
28/11/98	382.600	754.909	50,7
29/11/98	42.337	165.189	25,6
30/11/98	11.808	59.080	20,0
01/12/98	55.035	134.920	40,8
02/12/98	114.487	499.320	22,9
03/12/98	178.908	696.958	25,7
04/12/98	96.255	469.823	20,5
05/12/98	47.975	358.000	13,4
06/12/98	177.057	830.128	21,3
07/12/98	17.647	231.753	7,6
08/12/98	26.603	307.569	8,6
09/12/98	73.632	616.697	11,9
10/12/98	185.029	1.020.574	18,1
11/12/98	162.094	944.060	17,2
12/12/98	81.029	747.452	10,8
$\sum_{\text{batch}} =$	1.652.496	7.836.432	
$\eta_{c.\text{total}} = \sum_{\text{batch}} Q_o / \sum_{\text{batch}} Q_i = 21,1\%$			

Perhitungan efisiensi termal kolektor seperti pada Tabel 4 sampai dengan Tabel 9 memberikan harga efisiensi *batch*,  $\eta_{c.\text{total}}$ , sekitar 20%–31%. Harga ini cukup rendah karena tidak cukup besar energi surya yang diterima oleh kolektor

termanfaatkan untuk proses pengeringan. Hanya pada tahap awal pengeringan saja energi surya dimanfaatkan cukup tinggi, misal  $\eta_{c.\text{harian}} = 59\%$  pada tanggal 12/09/98 (Tabel 7) dan  $\eta_{c.\text{harian}} =$

68,6% pada tanggal 13/10/98 (Tabel 8). Namun pada tahap setelah pertengahan hingga akhir pengeringan, energi surya yang dimanfaatkan cenderung rendah, bahkan sampai hanya  $\eta_{c,harian} = 4,4\%$  saja pada tanggal 24/09/98 (Tabel 7). Alasan utama yang menyebabkan tingginya efisiensi termal kolektor terletak pada jadwal pengeringan (*drying schedule*) yang sudah ditetapkan terlebih dahulu sebelum proses pengeringan kayu Meranti dilakukan, dan penjelasannya sebagai berikut:

- Pada tahap awal, pengeringan memerlukan temperatur rendah sehingga sebagian besar pasokan panas dari energi surya cukup mampu untuk mencapainya dan menjaga temperatur tersebut.
- Pada perjalanan ke tahap berikutnya yaitu sejalan dengan berkurangnya kadar air kayu, temperatur pengeringan naik, dan untuk itu pasokan panas juga harus naik, sebagian berasal dari energi surya dan sebagian lagi dari *boiler*. Proses kenaikan temperatur pengeringan dan pasokan panas gabungan ini terjadi secara otomatis yang diatur oleh sistem manajemen kontrol pengeringan. Pada tiap level temperatur tertentu, ternyata panas yang tersimpan di dalam uap-air dari *boiler* sudah cukup mampu menjaga temperatur tersebut, sehingga pasokan panas dari kolektor relatif tidak terlalu banyak diperlukan lagi. Hal ini berarti, energi surya yang datang dan diserap oleh kolektor hanya sebagian kecil yang dimanfaatkan untuk disalurkan ke dalam ruang pengering.

#### 4. KESIMPULAN

Profil temperatur udara mengikuti bentuk profil radiasi surya datang, ini berarti kemampuan kolektor untuk menyimpan panas rendah. Temperatur udara keluar kolektor dapat mencapai 80°C di saat tengah hari dan kenaikan temperaturnya mencapai hingga 17°C.

Pada proses pengeringan kayu meranti, efisiensi termal total kolektor udara per *batch* pengeringan sekitar 20%–31%. Rendahnya efisiensi termal ini karena porsi energi surya yang tersalurkan ke dalam ruang pengering makin lama makin kecil seiring dengan makin turunnya kadar air kayu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anonymous, 1994. Technology Development for Industrial Application of Solar Systems, Report of New Sunshine Project NEDO, ENAA -Tokyo.
- Sheven, E.C., *et al.*, 1977. Development of A Solar Air Heater, Report No. 77-04, Final Report-Phase I, Waterloo Research Institute.
- Tanaka, T., 1998. Research and Development of Solar Thermal Industrial Process Heat in Japan, Prosiding Seminar Peningkatan Daya Saing Produk Kayu melalui Pengembangan Teknologi Pengeringan, LSDE-ENAA-DEPPERINDAG Kaltim-MPI, Samarinda, 27 Pebruari, 61-79.
- Yamada M., *et al*, 1998. Outline of the Experimental and Interim Evaluation, Prosiding Seminar Peningkatan Daya Saing Produk Kayu melalui Pengembangan Teknologi Pengeringan, LSDE-ENAA-DEPPERINDAG Kaltim-MPI, Samarinda, 27 Pebruari, 17-34.

#### Tata Nama

- $A_c$  : Luas permukaan kolektor, m<sup>2</sup>  
 $C_p$  : Panas jenis udara, kJ/kg.K, kcal/kg.K  
 $G_t$  : Irradiasi surya, W/m<sup>2</sup>.  
 $\dot{m}_a$  : Laju massa udara, kg/min  
 $p_a$  : Tekanan uap air, mmHg  
 $p_s$  : Tekanan uap air jenuh, mmHg  
 $Q_i$  : Energi panas yang diserap kolektor, kcal/min  
 $Q_o$  : Energi panas yang dibangkitkan kolektor, kcal/min  
 $RH_i$  : Kelembaban udara masuk kolektor  
 $RH_o$  : Kelembaban udara keluar kolektor  
 $T_a, T_a$  : Temperatur ambien, °C, K  
 $t_i, T_i$  : Temperatur udara masuk kolektor, °C, K  
 $t_o, T_o$  : Temperatur udara keluar kolektor, °C, K  
 $U_c$  : Koefisien-rugi-rugi-panas-total kolektor, W/m<sup>2</sup>.K, cal/h.m<sup>2</sup>.K  
 $\eta_c$  : Efisiensi termal kolektor  
 $\eta_{c,harian}$  : Efisiensi termal harian kolektor  
 $\eta_{c,total}$  : Efisiensi termal total kolektor  
 $v_a$  : Kecepatan udara, m/s  
 $v_a$  : Volume jenis udara basah, m<sup>3</sup>/kg