

PELUANG ENERGI TERBARUKAN DI INDUSTRI **Pemanfaatan Termal Surya Pada Proses pengeringan kayu**

OPPORTUNITY OF RENEWABLE ENERGY IN INDUSTRY ***Solar Thermal Utilization In The Wood Drying Process***

Mawardi Silaban

Balai Besar Teknologi Energi (B2TE), BPPT
Kawasan PUSPIPTEK, Setu, Tangerang Selatan, Banten, 15314
E-mail : silaban90210@yahoo.com

Abstrak

Konsep perpindahan Massa dan panas dalam suatu sistem memberikan pendekatan mendasar untuk memperkirakan efisiensi termal sistem pengeringan kayu energi surya. Efisiensi termal sendiri didefinisikan sebagai rasio panas teoritis dan aktual yang diperlukan selama proses pengeringan. Perhitungan panas didasarkan pada jumlah energi yang diserap oleh sistem. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi termal yang dapat dicapai dengan sistem pengeringan kayu energi surya pada kondisi ini dijelaskan dalam makalah ini adalah 17,1% dengan rasio 25,2%.

Kata kunci : Pengeringan kayu, Efisiensi termal, Energi surya, Kolektor

Abstract

Mass and heat transfer concept in a system provide a fundamental approach for estimating thermal efficiency of solar energy wood drying system. The thermal efficiency itself is defined as ratio of theoretical and actual heat required during drying process. Heat calculation was based on amount of energy absorbed by the system. The calculation result showed that the thermal efficiency that could be achieved by this solar energy wood drying system at this condition described in this paper is 17.1% with the ratio of 25.2%.

Keywords : *Wood Dryer, Thermal Efficiency, Solar Energy, Collector*

Diterima (*received*) : 7 Januari 2013, Direvisi (*reviewed*) : 16 Januari 2013,
Disetujui (*accepted*) : 5 Februari 2013

PENDAHULUAN

Perpres No. 5/2006 yang dikeluarkan oleh pemerintah Indonesia ditujukan untuk mengantisipasi tantangan yang dihadapi Indonesia dalam rangka pemenuhan kebutuhan energi, dimana dalam Perpres tersebut salah satu penekanan adalah menempatkan energi terbarukan dalam formulasi *energy mix* untuk tahun 2025. Pemerintah telah menetapkan pada tahun 2025 nanti, penggunaan energi terbarukan telah mencapai 15% dari seluruh penggunaan energi nasional. Energi baru dan terbarukan lainnya seperti energi surya, tenaga angin, tenaga air dan yang lainnya lebih dari 5%, *biofuel* ditargetkan lebih dari 5%, panas bumi lebih dari 5%¹⁾.

Energi surya adalah energi yang bersih dan gratis. Energi surya yang dipancarkan ke bumi Indonesia selalu ada sepanjang tahun, diperkirakan potensi sinar surya yang jatuh di daratan Indonesia sebesar $0,9 \times 10^8$ kJ/Tahun. Untuk sebagian daerah di Jawa, Madura dan Indonesia bagian Timur banyaknya energi yang ditangkap dari matahari sekitar 3800 – 4570 Wh/m² per hari. Bertitik tolak dari hal tersebut, energi surya sebagai energi terbarukan sudah saatnya secara berkesinambungan diteliti dan dikembangkan pemanfaatannya.

Beberapa alat konversi energi surya telah dikembangkan, diantaranya dikenal sel surya (penyusun modul surya) untuk menghasilkan energi listrik, serta kolektor surya sebagai alat pengumpul panas surya.

Dalam makalah ini pengembangan kolektor surya berbahan penyerap panas dari serat karbon, digunakan untuk proses pengeringan kayu di industri perkayuan, dimana pada siang hari panas yang dibutuhkan untuk proses pengeringan dibangkitkan dari kolektor, dan pada malam hari atau saat hujan atau mendung dengan menggunakan *boiler*. Teori perpindahan panas yang membahas proses perpindahan kalor selalu dikaitkan dengan massa dan sifat sistem yang sedang di tinjau, maka mekanisme demikian juga terjadi pada proses pengeringan suatu bahan. Pada penelitian ini, pemakaian energi pada proses pengeringan kayu di dalam ruang pengering, diperoleh dari kolektor, boiler dan energi listrik. Mekanisme pengeringannya terjadi karena adanya kontak langsung antara udara panas dengan permukaan kayu yang mempunyai suhu yang lebih rendah.

Menurut hukum kekekalan energi, seluruh kalor yang masuk ke ruang pengering dapat di pakai untuk menaikkan suhu kayu (bahan yang dikeringkan) dan menguapkan air yang dikandungnya, akan tetapi tidak semua panas yang tersedia dapat digunakan /diserap dengan sempurna oleh bahan. Dalam hal ini ada sejumlah panas yang hilang keluar dari sistem sehingga akan mengurangi efisiensi pengeringannya²⁾.

Efisiensi dinyatakan sebagai perbandingan jumlah panas teoritis yang seharusnya digunakan untuk menaikkan suhu bahan (panas sensibel) serta menguapkan air (panas evaporasi) terhadap jumlah panas sesungguhnya yang dipakai selama operasi pengeringan berlangsung. Jumlah panas teoritis diperoleh dari perhitungan berdasarkan pada sifat bahan yang dikeringkan antara lain massa, kadar air awal dan akhir, panas jenis, dan suhu yang semuanya itu dikaitkan dengan kondisi pengeringan yang dipakai. Sedangkan jumlah energi sesungguhnya diperoleh dari hasil pengamatan yang besarnya di hitung dari energi yang masuk ke kolektor, energi dari bahan bakar yang diumpankan ke boiler dan energi listrik yang digunakan pada sistem.

BAHAN DAN METODE

Pengering Kayu Tenaga Surya

Secara garis besar pengering kayu tenaga surya terdiri dari 3 (tiga) bagian utama yaitu :

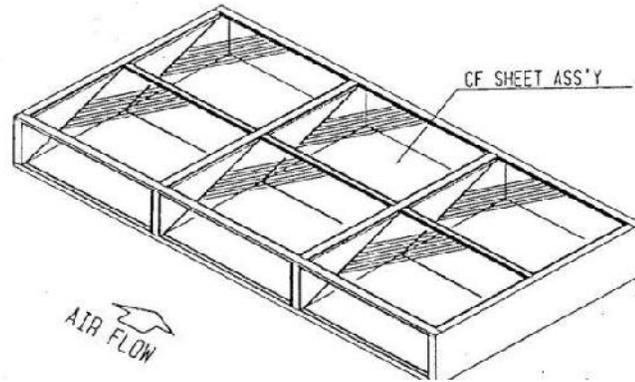
Kolektor

Bagian ini berfungsi untuk menyerap radiasi panas matahari yang jatuh di permukaan kolektor dan mengkonversikannya mejadi panas pada udara yang mengalir disekitarnya. Dengan bantuan fan tipe axial dengan laju aliran 350 m³/min dan *static pressure* 15 mmAq pada putaran 1450 rpm, udara panas tersebut dialirkan ke ruang pengering.

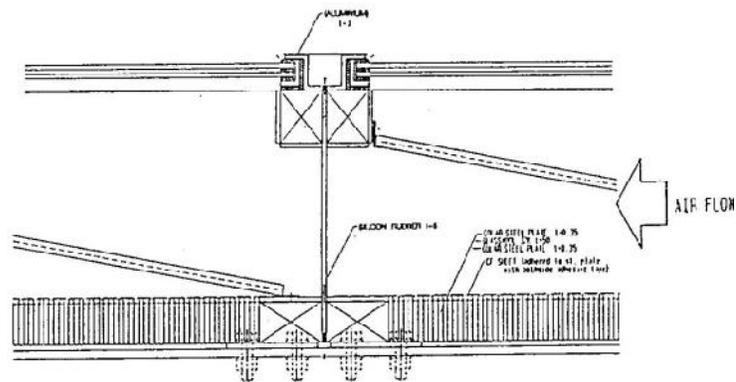
Struktur kolektor terdiri dari penutup bagian atas yang terbuat dari bahan kaca, penyerap panas di buat dari bahan serat karbon (*carbon fiber*), dan pada bagian bawahnya dilengkapi dengan sistem penahan panas. Bingkai terbuat dari besi galvanis . Jumlah kolektor yang digunakan sebanyak 32 unit, yang dirangkai sedemikian rupa menjadi empat baris dan tiap baris terdiri dari 8 unit. Luas kolektor seluruhnya 230,4 m². Kolektor dilengkapi dengan 2 (dua) unit *header* yang di pasang pada bagian kedua ujung kolektor. Kolektor yang digunakan dari jenis kolektor plat datar yang di pasang secara konstruktif menjadi satu dengan ruang pengering, potongan kolektor (a) gambar 3 dimensi dan (b) gambar melintang, dapat dilihat pada Gambar 1.

Ruang Pengering

Ruang pengering berfungsi untuk tempat bahan (kayu) yang akan dikeringkan, yang mampu menampung kayu jenis papan/balok sebanyak 100 m³. Ruang ini berbentuk kotak empat persegi panjang, sama dengan yang umum digunakan di industri pengeringan kayu. Pada bagian atas di dalam ruang pengering ditempatkan 8 unit fan sirkulasi dan 4 unit sistem penukar panas (*heat exchanger*). Dan pada bagian belakang di pasang unit pengkondisi udara (*humidifier*) berbentuk sebuah pipa (*sprayer*). Dinding ruang pengering terbuat dari beton, dan pada bagian dalamnya dilapisi dengan sistem penahan panas. Pintu utama di buat dari jenis pintu dorong di pasang di sepanjang ruang pengering, dan pintu kontrol dipasang pada bagian lebar ruang pengering. Seluruh pintu dilengkapi dengan sistem penahan panas.



a potongan 3 dimensi

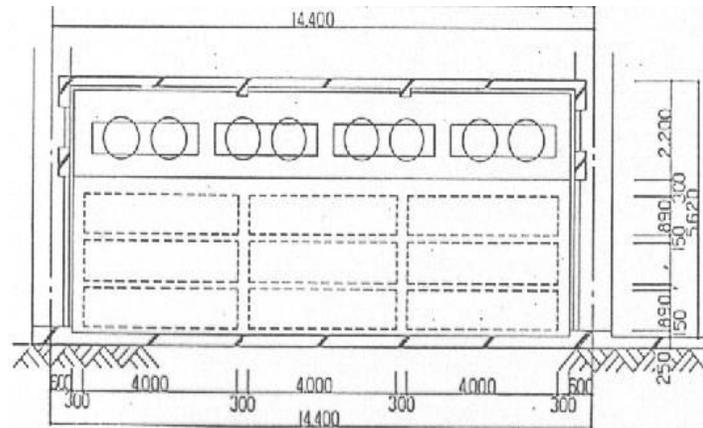


b potongan melintang

Gambar 1.
Potongan Kolektor Surya.

Ruang pengering dilengkapi dengan ventilasi yang terdiri dari dua saluran, dan keduanya dapat berfungsi sebagai saluran masuk (*intake*) dan saluran keluar (*exhaust*). Fungsi ini dilakukan kedua saluran secara

bergantian setiap dua jam, karena itu kedua saluran tersebut dilengkapi dengan kipas pembuangan (*exhaust fan*). Skema ruang pengering diperlihatkan pada Gambar 2.

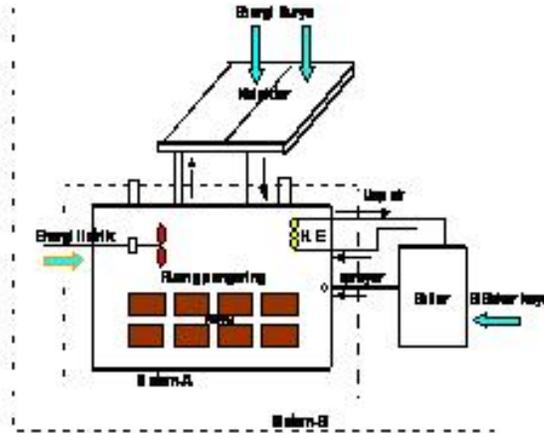


Gambar 2.
Skema Ruang Pengering

Boiler

Boiler berfungsi sebagai pemasok energi panas ke ruang pengering apabila energi dari panas matahari tidak mencukupi, atau pada saat cuaca mendung/hujan dan pada malam hari. Uap panas yang dihasilkan dari boiler

akan dialirkan keruang pengering dengan sistem perpipaan dan dilewatkan di dalam sistem penukar panas yang terletak di ruang pengering. Boiler yang di pakai menggunakan serbuk kayu/serpihan kayu sebagai bahan bakar. Skema pengering kayu tenaga surya diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Sistem Pengering Kayu Tenaga Surya

Kesetimbangan Energi Termal

Pada prinsipnya energi termal yang dibutuhkan untuk proses pengeringan digunakan untuk pemanasan bahan, pemanasan kandungan air bahan dan energi untuk menguapkan air dalam bahan yang besarnya adalah :

$$Q_r = m_k \cdot cp_k (T_d - T_a) + w_i (T_d - T_a) + W_r \cdot v_1 \dots \dots (1)$$

dengan m_k = massa kayu yang akan dikeringkan, cp_k = panas spesifik kayu, T_d = suhu pengeringan, T_a suhu rata-rata ambient, w_i kandungan air awal kayu, W_r jumlah air yang diuapkan dan v_1 kalor penguapan air pada suhu T_d .

Pada saat proses pengeringan kayu di ruang pengering berlangsung, maka secara perlahan kelembaban udara di ruang pengering akan semakin meningkat yang disebabkan keluarnya air dari dalam kayu. Apabila tingkat kelembaban ini melewati dari yang ditentukan pada jadwal pengeringan (bagan pengeringan), maka udara jenuh tersebut akan di buang ke luar sistem melalui sebuah damper dengan bantuan kipas. Damper dibuat berpasangan, sehingga bila sebuah damper membuang udara jenuh maka pasangannya akan memasukkan udara segar. Pada saat pembukaan damper, akan

terjadi rugi-rugi panas yang besarnya adalah³⁾:

$$Q_x = (\text{entalpi udara keluar} \times (\text{berat udara ke luar}) - (\text{entalpi udara masuk} \times (\text{berat udara masuk}))$$

$$= \left[\left(\frac{7,536V_w}{V_x} \right) (0,24T_x + (597,3 + 0,441T_x)) \cdot 0,622 \left(\frac{p_{sx} \cdot R_x}{76000 - p_{sx} \cdot R_x} \right) - \right.$$

$$\left. \left[\left(\frac{7,536V_w}{V_t} \right) (0,24T_t + (597,3 + 0,441T_t)) \cdot 0,622 \left(\frac{p_{st} \cdot R_t}{76000 - p_{st} \cdot R_t} \right) \right] \right) \quad (2)$$

dengan V_w kecepatan udara dalam duct (m/det), T_x temperatur udara keluar ($^{\circ}\text{C}$), p_{sx} tekanan parsial uap air udara keluar (mm Hg), R_x kelembaban udara keluar (%), V_x volume udara keluar (m^3/kg), V_t volume jenis udara masuk (m^3/kg), T_t temperatur udara masuk ($^{\circ}\text{C}$), p_{st} tekanan parsial uap air udara masuk (mm Hg), dan R_t kelembaban udara masuk (%).

Rugi-rugi panas lainnya adalah melalui dinding ruang pengering Q_w (kcal/min) sebesar:

$$Q_w = (k_w \cdot A_w + k_d \cdot A_d + k_s \cdot A_s) \cdot \frac{1}{60} (T_d - T_a) \dots \dots (3)$$

dengan A_w = luas dinding (m^2), k_w = koefisien hantaran panas dinding ($kcal/m^2.jam\ ^\circ C$), k_d = koefisien hantaran panas pintu ($kcal/jam\ ^\circ C$), A_d = luas pintu (m^2), k_s koefisien hantaran panas lantai ($kcal/m^2.jam.\ ^\circ C$), A_s = luas lantai (m^2), T_d = temperatur pengeringan, dan T_a = temperatur ambient. Berdasarkan hukum kekekalan energi, maka neraca panas menjadi :

$$Q_n = Q_r + Q_x + Q_w + Q_l \quad (4)$$

dimana, Q_n = total energi masuk pada system-A

$$= (Q_c + Q_x + Q_f)$$

$$Q_l = \text{panas tak-terukur} \\ = (Q_n - Q_r - Q_x - Q_w)$$

dengan Q_l adalah panas tak terukur (*invisible heat*).

Dengan demikian efisiensi sistem-A adalah :

$$y_r = \frac{Q_r}{Q_n} \times 100\% \quad (5)$$

Pada proses pengeringan kayu di ruang pengering (sistem-A), energi diperoleh dari panas yang dihasilkan kolektor, energi listrik dan energi uap panas dari ketel uap. Besarnya energi tersebut masing-masing di tulis dalam persamaan berikut⁴⁾.

1. Energi panas yang dialirkan dari kolektor :

$$Q_c = \left(\frac{7,536V_w}{V_x} \right) \left(0,24 + \frac{0,274(p_s.R_1)}{76000 - (p_s.R_1)} \right) (T_o - T_1) \times 2 \text{ kcalmt.} \quad (6)$$

dengan V_w kecepatan udara dalam duct (m/det), V_x rapat jenis udara (m^3/kg), p_s tekanan parsial uap saturasi masuk kolektor ($mm\ Hg$), R_1 kelembaban udara masuk kolektor (%), T_o temperatur udara keluar kolektor ($^\circ C$), T_1 temperatur udara masuk kolektor ($^\circ C$).

2. Energi Listrik, Q_f ($kcal/min$) di pakai untuk menggerakkan kipas sirkulasi yang jumlah pemakaiannya di catat secara otomatis di kWh meter.

$$Q_f = (kWh)(860) \text{ kcal} \dots \dots \dots (7)$$

3. Energi uap panas, yang dialirkan melalui sistem penukar panas (heat exchanger) dan sprayer. Melalui sistem penukar panas :

$$Q_{sh} = m_u [(T_u - T_w) + 504,1] \text{ kcal}$$

dengan m_u = banyaknya uap air yang dialirkan pada sistem penukar panas, T_u = temperatur uap air yang dialirkan, T_w = temperatur air keluar sistem penukar panas dan panas laten uap air pada tekanan $5\ kg/cm^2$ adalah $504,1\ kcal/kg$.

Melalui sprayer:

$$Q_s = m_s [(T_m + 504,1) - (0,441 T_d + 597,3)]$$

Sehingga jumlahnya menjadi :

$$Q_s = m_u [(T_u - T_w) + 504,1] + m_s [(T_m + 504,1) - (0,441 T_d + 597,3)] \quad (8)$$

Jika di tinjau dari keseluruhan sistem(sistem-B), maka kebutuhan energi untuk pengering kayu tenaga surya di pasok dari energi panas matahari, energi listrik dan energi dari hasil pembakaran bahan bakar di boiler. Besarnya masing-masing energi tersebut adalah :

1. Energi panas matahari Q_l ($kcal$),

$$Q_l = (I.A).860 \text{ kcal} \quad (9)$$

dengan I adalah radiasi matahari (kWh/min), A luas kolektor (m^2)

2. Energi listrik Q_e merupakan konsumsi energi listrik total pada sistem pengering kayu dan termasuk pemakaian di unit boiler. Jumlah pemakaian di catat secara otomatis pada kWh meter.

3. Energi pembakaran bahan bakar di boiler Q_b ($kcal$),

$$Q_b = m.q \quad (10)$$

dengan m adalah jumlah bahan bakar (kg), q nilai kalor bakar ($kcal/kg$).

Sehingga kebutuhan energi total pada sistem-B (Q_g) adalah ;

$$Q_g = Q_l + Q_e + Q_b \quad (11)$$

Dengan demikian efisiensi sistem-B adalah ;

$$y = \frac{Q_r}{Q_g} \times 100\% \quad (12)$$

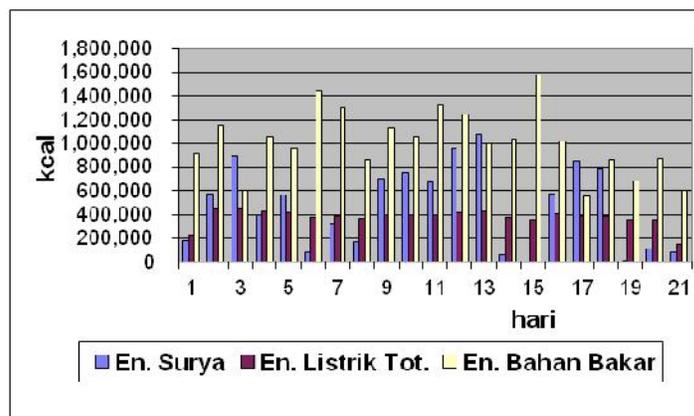
Dan rasio energi surya yaitu:

$$y_{iw} = \left[\frac{Q_i}{Q_g} \right] \times 100\% \quad (13)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan terhadap pengering kayu tenaga surya, menunjukkan bahwa untuk mengeringkan kayu meranti dengan kapasitas 100 m³ dari kandungan air awal rata-rata 28% menjadi kandungan akhir rata-rata 7%,

membutuhkan waktu selama 21 hari. Dan dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 1 jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air yang terdapat pada kayu tersebut sebesar 6.669.000 kcal. Energi tersebut diperoleh dari energi matahari, energi listrik dan energi bahan bakar. Energi Listrik digunakan untuk menggerakkan peralatan-peralatan mekanis seperti fan, sedangkan energi matahari dan energi bahan bakar digunakan untuk memanaskan udara pengering. Jumlah energi harian yang masuk ke sistem ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4.
Grafik Jumlah Energi Harian Yang Masuk Sistem Pengering

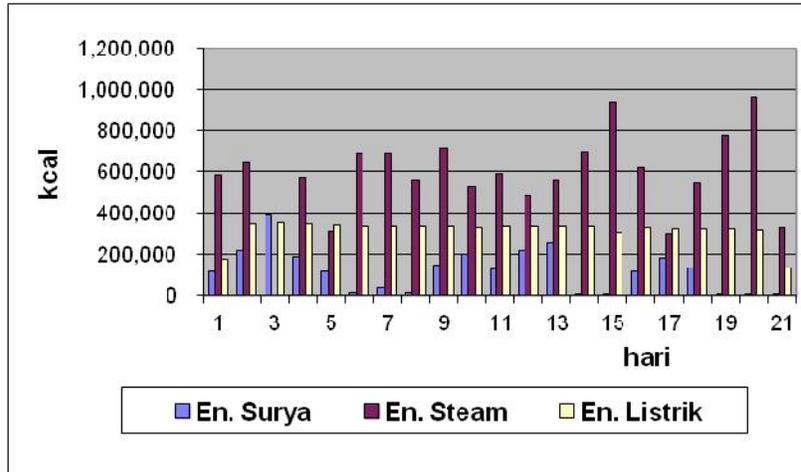
Berdasarkan Gambar 4 tersebut, terlihat bahwa energi listrik harian yang digunakan cenderung konstan, berbeda dengan energi surya dan energi bahan bakar yang selalu berfluktuasi. Hal ini terjadi karena peralatan-peralatan yang menggunakan energi listrik sejak proses pengeringan di mulai hingga pengeringan berakhir harus beroperasi secara terus menerus pada beban yang sama (seperti fan sirkulasi). Adanya perbedaan kebutuhan harian terjadi karena fan ventilasi beroperasi secara *intermiten* untuk setiap harinya.

Bila diperhatikan terhadap konsumsi bahan bakar yang digunakan, terlihat bahwa pada saat pemakaian energi surya yang semakin meningkat, maka penggunaan bahan bakar cenderung menurun dan atau sebaliknya, bila pemakaian energi surya yang masuk kesistem menurun maka bahan bakar yang diperlukan di boiler semakin meningkat.

Berdasarkan hasil pengujian terhadap proses pengeringan kayu meranti, jumlah energi surya yang masuk adalah (Qi) 9.812.649 kcal, energi listrik total 7.812.649 kcal dan energi bahan bakar 21.264.000 kcal. Dengan demikian efisiensi sistem pengering

kayu tenaga surya (sistem-B) adalah 17,1 % dan rasio energi surya berguna adalah 25,2 %.

Penggunaan bahan bakar pada 5 hari sebelum akhir pengeringan menunjukkan kecenderungan semakin menurun, sementara pada tahap-tahap tersebut suhu udara pengering yang diinginkan semakin menigkat dan kelembaban semakin menurun sesuai dengan jadwal pengeringan/bagan pengeringan untuk jenis kayu meranti. Hal ini menggambarkan bahwa pada proses pengeringan kayu pada tahap tersebut akan semakin lambat atau proses difusi air dari dalam kayu menuju permukaan sudah semakin lambat, sehingga pengaruh terhadap naiknya kelembaban udara pengering sebagai akibat dari pembentukan uap air kayu tidak memberikan perbedaan yang signifikan dibandingkan dengan *setting point* pada bagan pengeringan. Dengan demikian frekwensi pembukaan atau pembuangan udara melalui damper akan semakin jarang (menurun) dibandingkan dengan hari-hari sebelumnya.

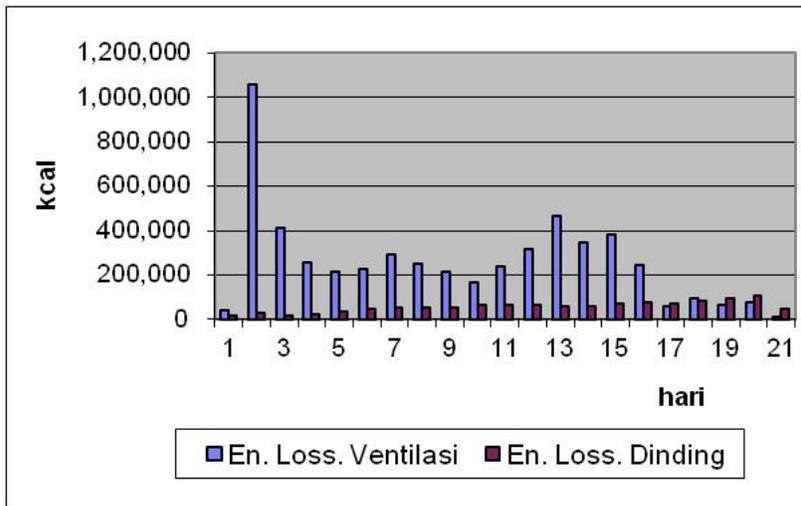


Gambar 5.
Grafik Energi Berguna Pada Sistem Pengering.

Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa pemakaian energi berguna di ruang pengering mempunyai pola yang hampir sama dengan energi yang masuk ke sistem pengering. Dan dengan menggunakan persamaan 6, 7 dan 8 maka jumlah energi berguna di ruang pengering selama proses pengeringan berlangsung masing-masing adalah energi surya 2.495.818 kcal, energi uap panas 12.106.660 kcal, dan energi listrik 6.625.046 kcal. Sehingga energi yang masuk di ruang pengering selama proses

pengeringan (sistem-A) sebesar 21.227.524 kcal. Atau efisiensi pengeringannya 31,4 %.

Berdasarkan pada bagan pengeringan, yaitu pengeringan untuk kayu meranti (ref. 3), proses pengeringan diawali dengan kondisi udara pengering pada suhu 50°C, kelembaban 90 % selama 24 jam, Selanjutnya secara bertahap suhu semakin meningkat dan kelembaban makin menurun, dan hingga pada akhir pengeringan suhunya menjadi 80°C, kelembaban 31 %.



Gambar 6.
Grafik Rugi-rugi Panas Pada Sistem Pengering

Dengan menggunakan bagan pengering seperti pada ref. 3 tersebut, rugi-rugi panas harian yang terjadi melalui dinding dari hari kehari berikutnya mempunyai kecenderungan semakin meningkat (lihat Gambar 6), sebagai fungsi dari kenaikan temperatur kerjanya (persamaan 3). Sementara rugi-rugi panas

yang terjadi melalui ventilasi sangat berfluktuasi.

Pada awal pengeringan jumlah energi yang terbuang cukup besar, hal ini disebabkan oleh karena kandungan air kayu yang terdapat pada permukaan lebih mudah keluar meninggalkan kayu, sehingga

mengakibatkan kelembaban disekitarnya akan meningkat^{5,6)}. Pada saat kondisi udara pengering melampaui kelembaban *setting point*, maka damper akan terbuka, dan udara lembab akan di buang melalui saluran pembuangan dengan bantuan kipas, dan pada saat yang sama udara segar akan ditarik melalui saluran pemasukan. Berdasarkan hasil perhitungan jumlah rugi-rugi panas yang terjadi melalui dinding selama proses pengeringan 1.190.774 kcal. Dan melalui ventilasi 5.439.602 kcal.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian terhadap pemanfaatan termal surya menunjukkan bahwa pengering kayu tenaga surya mampu mengeringkan kayu di industri perkayuan sesuai dengan bagan pengeringan dari jenis kayu yang di inginkan. Hal ini dapat memberikan salah satu peluang terhadap penggunaan energi terbarukan yang lebih luas di sektor industri. Karakteristik pengeringan kayu (bagan pengeringan) untuk berbagai jenis kayu selalu berbeda-beda, dan proses pengeringannya selalu disesuaikan dengan bagan pengering tersebut. Dengan demikian *setting point* yang terdapat pada bagan pengeringan merupakan kondisi operasional pola penggunaan energi pada proses pengeringan. Efisiensi sistem pengering kayu tenaga surya dipengaruhi oleh energi yang masuk ke sistem, sementara penggunaan energi di ruang pengering di atur berdasarkan pada jenis bagan pengeringannya. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh efisiensi sistem pengering kayu tenaga surya sebesar 17,1%, dan rasio energi surya sebesar 25,2%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan dari PT KBA Industri Manis, Tangerang dan dari ENAA Tokyo Japan atas bantuannya pada saat pengujian dilakukan serta kerja sama yang baik yang sudah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

1. Duffie, A. J, Beckman, A. W., *Solar Energy Thermal Processes*, John Willey & Sons, New York, 1974.
2. Mulato,S., *Efisiensi Termal Rumah Asap, Perhitungan dan Masalahnya*, Jurnal Menara Perkebunan, Jakarta, 1987.
3. Mulato,S. Amir, E. J., Silaban, M. , Pass, T. and Muhlbauer, W., *Pemanfaatan Energi Matahari Untuk Pengeringan Buah Kelapa Dan Biji Kakao*, Pros. Seminar Nasional Pengeringan Komoditas Pertanian, Badan Penelitian Dan Pengembangan Pertanian, Jakarta, Oktober 1990.
4. Santoso,B., (Pertimbangan Perbaikan Kualitas Kayu Memenuhi Standard Pasar Internasional), (*Proc. Workshop Solar Thermal Energy Utilization System Drying Technology*), BPP Teknologi, Jakarta, 1995.
5. Yahya A., D., *Target Energi Mix Indonesia Tahun 2025*, Menurut Perpres No.5 Tahun 2006, Media Indonesia, hal..A3, Jakarta, November 2006.
6., *Technology Development For Industrial Application of Solar System*, International Joint R&D Programme of Solar Thermal Energy Utilization System, ENAA- Tokyo Japan, March 1997.