

## ANALISIS PERFORMANSI MODEL OVEN KAYU SISTEM INTEGRAL HP/T COLLECTOR DAN DESAIN REKAYASA PROTOTIPE HYBRID MOBILE WOOD DRYER

Budi Kristiawan<sup>1</sup>, Joko Triyono<sup>1</sup>, Muhammad Eriq A<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Staf Pengajar - Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik UNS

<sup>2</sup> Alumni Jurusan Teknik Mesin - Fakultas Teknik UNS

### Keywords :

Wood Drying  
Hybrid  
Heat Pump Dryer  
Thermal Collector

### Abstract :

The aim of this research is to introduce applied technology and engineering design of hybrid mobile wood prototype. Energy source of the hybrid mobile wood dryer prototype are heat pump dryer and thermal collector. That two kind of energy source is called integrated system HP/T Collector. The integrated system HP/T Collector is a technological innovation which developed as a device for wood drying process. The dried wood samples are teak wood (*Tectona Grandis* Linn. F.) and mahony wood (*Swietenia Mahagoni*). Material of thermal collector are a single flat black plate collector and a glass cover. The heat pump dryer use a compression vapor system with refrigerant R-134a as working fluid. The mechanism of combination integrated system HP/T Collector operates during 12 hours per cycle. The heat pump dryer operates during 2 hours respectively at the start and the end of drying process. The thermal collector dryer operates during 8 hours at the middle of drying process. The results of experiment show that using first combination is the best performance. The first combination has useful energy 1995,279 J and collector efficiency 32,6%. While, heat performance of first combination have 0,139 kg water/hr of MER, 33,5 % of SMER and 4,26 - 3,49 COP actual. And the average of convection heat transfer show 26,556 ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) for heat pump dryer unit and 40,884 ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ ) for thermal collector unit.

### PENDAHULUAN

Sentra industri mebel di Desa Serenan Juwiring Kabupaten Klaten adalah salah satu daerah penghasil produk mebel ekspor di Propinsi Jawa Tengah. Proses pengeringan kayu adalah tahapan yang harus ada dalam industri permebelan. Dalam proses pengeringan kayu, pengrajin di daerah sentra industri mebel di daerah Serenan Klaten masih banyak menggunakan sistem pengeringan kayu konvensional dengan cara membuat oven dengan mengambil udara/uap panas dari pembakaran serbuk kayu atau potongan kayu yang terletak di bagian bawah oven kayu yang dikeringkan.



a. Bagian dalam oven.

Sistem ini memang membuat pengeringan lebih cepat dari pada pengeringan alami/natural (dengan matahari langsung). Waktu yang digunakan juga lebih cepat yaitu sekitar 15 – 20 hari. Namun sistem pengeringan ini cukup beresiko tinggi karena kayu yang dikeringkan akan sangat mudah terbakar. Banyak pengrajin yang rugi karena oven kayu mereka terbakar sekaligus kayu yang dikeringkan.



b. Pengering konvensional.

Gambar 1. Oven kayu konvensional yang digunakan pengrajin mebel di Serenan.

Pada tahun 2001, pengrajin mebel Serenan di bawah pengelolaan Koperasi “Manunggal Jaya” mendapatkan hibah dari pemerintah sebuah oven kayu dengan kapasitas  $20 \text{ m}^3$  seperti terlihat pada Gambar 2. Sumber panas yang digunakan oven kayu ini adalah dari uap panas hasil dari pembakaran minyak. Karena kapasitas ruang pengering besar, maka harus ditambah sumber energi panas dari elemen pemanas udara. Daya listrik yang dibutuhkan untuk menghidupkan elemen pemanas udara mencapai  $20 \text{ kW}$ . Daya listrik yang sangat besar ini tidak mampu dipenuhi oleh daya listrik terpasang koperasi setempat. Sehingga oven kayu saat ini *mangkrak* dan tidak dioperasikan karena membutuhkan biaya operasional (biaya energi) sangat besar. Di samping itu, untuk melakukan sekali proses pengeringan harus memasukkan volume kayu sebesar  $20 \text{ m}^3$ . Volume kayu sebanyak itu harus dikumpulkan dari banyak pengrajin mebel di daerah tersebut. Padahal kebutuhan kayu kering antara satu pengrajin mebel yang satu dan yang lain tidak sama baik dari segi waktu penggunaan maupun kebutuhannya. Pengrajin mebel rata-rata hanya

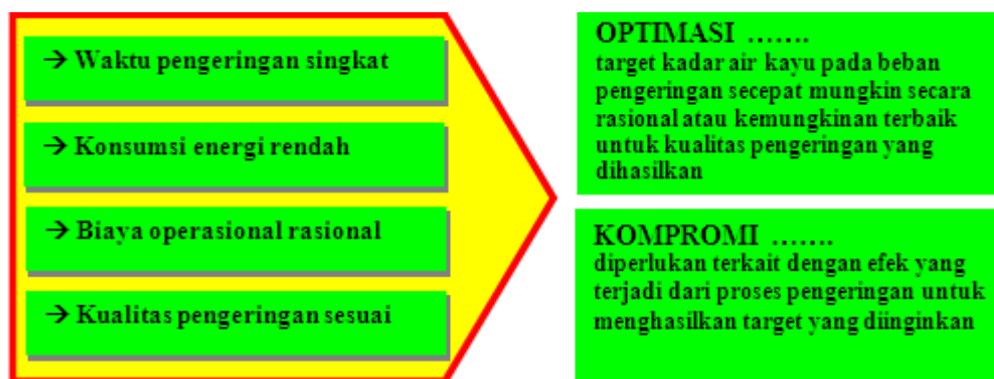
membutuhkan kayu kering sebanyak  $2 \text{ m}^3$  per minggu.

#### TINJAUAN PUSTAKA

Proses pengeringan kayu bertujuan melepaskan kandungan air kayu hingga mencapai kadar kayu yang diinginkan berkisar 8-12%. Dalam melepaskan kandungan air dari kayu, proses ini membutuhkan energi yang besar. Kandungan air dalam kayu berupa air bebas (*free water*) yang terletak di rongga-rongga sel kayu dan air terikat (*bound water*) yang terletak pada dinding-dinding sel kayu. Adapun manfaat kayu kering adalah meningkatkan daya tahan terhadap jamur, rasio volume/berat, kekuatan dan kekakuan (*strength and stiffness*), penampilan, sifat-sifat perekatan, sifat-sifat *finishing*, sifat-sifat pemesian dan perakitan, stabilitas dimensi dan pertimbangan stabilitas produk dalam penyimpanan dan pengiriman. Tujuan pengeringan kayu secara komprehensif dapat dijelaskan pada Gambar 3.



Gambar 2. Oven kayu yang *mangkrak* di sentra industri mebel Serenan.



Gambar 3. Tujuan komprehensif proses pengeringan kayu.

#### Performansi *thermal collector*

Performansi *thermal collector* dapat diketahui dengan menghitung energi berguna ( $Q_{use \text{ TC}}$ ) yang dihasilkan kolektor, energi berguna aktual ( $Q_{use \text{ aktual TC}}$ ) dan efisiensi dari kolektor. Energi berguna yang

dihasilkan kolektor merupakan selisih antara radiasi lampu halogen yang masuk dengan kerugian panas yang terjadi. Radiasi lampu halogen yang masuk dinyatakan dalam jumlah radiasi lampu halogen yang diserap oleh kolektor ( $S$ ). Sehingga, energi berguna

$(Q_{use\ TC})$  dapat diekspresikan untuk luasan kolektor  $A_c$  adalah :

$$Q_{use\ TC} = A_c [S - q_{l,t}] \quad (\text{Watt}) \quad (1)$$

$$Q_{use\ TC} = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (\text{Watt}) \quad (2)$$

Sedangkan energi berguna aktual adalah energi panas yang masuk ke ruang pengeringan (*chamber*) dan digunakan untuk proses pengeringan dirumuskan yaitu :

$$Q_{use\ aktual\ TC} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{a\ out} - T_{a\ in}) \quad (\text{J/s}) \quad (3)$$

Efisiensi dari kolektor merupakan efisiensi pengumpulan energi panas yang dihasilkan oleh kolektor, yang dapat dihitung dengan persamaan :

$$\eta_c = \frac{\int Q_{use\ TC} dt}{A_c \cdot \int G_T dt} \quad (4)$$

### Performansi Heat Pump

Performansi *heat pump dryer* dapat dinyatakan dengan membandingkan *moisture extraction rate* (MER, kg air/h), *specific moisture extraction rate* (SMER, kg air/kwh) dan *coefficient of performance* ( $COP_{HP}$ ) dari sistem *heat pump*. Dalam aplikasi pengeringan, MER dan SMER adalah parameter yang tepat untuk penilaian performansi. MER secara tidak langsung menyatakan produktivitas alat pengering dapat dicari dengan cara menampung banyaknya tetesan air menggunakan gelas ukur pada evaporator dalam tiap waktunya. Sedangkan SMER menyatakan efisiensi energi pada proses pengeringan sistem *heat pump dryer* yang dirumuskan sebagai berikut :

$$SMER = \frac{MER}{W_t} \quad (5)$$

dimana :

$W_t = W_{kompresor} = \text{Daya total kompresor (W)}$

$$W_{kompresor} = V \cdot I \cdot \cos \phi$$

atau

$$W_{kompresor} = V \cdot I \cdot PF \quad (6)$$

Dalam masa pembentukan energi, dimana merupakan fungsi utama *heat pump*,  $COP_{HP}$  adalah indikator performansi yang lebih baik. Definisi  $COP_{HP}$  yaitu perbandingan antara panas yang dipindahkan dari kondensor ke udara dengan kerja yang diperlukan oleh kompresor, dinyatakan dengan rumus sebagai berikut :

$$COP_{HP} = \frac{Q_{kondensor}}{W_{kompresor}} \quad (7)$$

### Analisis Thermal Heat Pump

Dalam penelitian ini, dilakukan penganalisaan pada kondisi ideal dan kondisi aktual sistem atau unit *heat pump*. Analisis *thermal* yang dihitung yaitu besar panas yang dipindahkan dari kondensor ke udara ( $Q_{kondensor}$ ) atau juga bisa disebut energi berguna ( $Q_{use\ HP}$ ). Analisis *thermal* antara siklus tertutup dan siklus terbuka sama, karena konsepnya menggunakan perputaran *fan axial* sehingga energi panas yang dipindahkan dari kondensor ke udara ( $Q_{use\ HP}$ ) dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$Q_{use\ HP} = \dot{m}_a \cdot C_p \cdot (T_{a\ out} - T_{a\ in}) \quad (8)$$

### METODOLOGI PENELITIAN

Peralatan yang digunakan dalam pengambilan data penelitian ditunjukkan pada model oven kayu sistem integral HP/T *Collector* terlihat pada Gambar 4 di bawah ini.

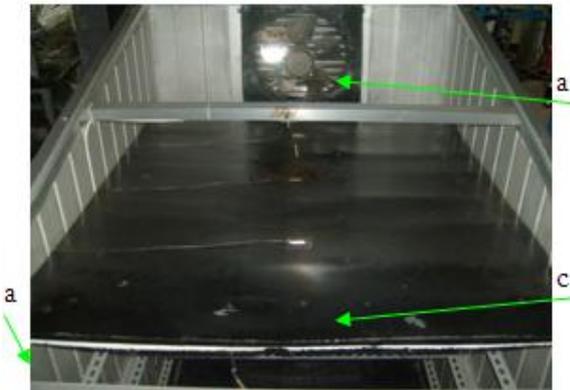


Gambar 4. Alat pengering *thermal collector - heat pump*.

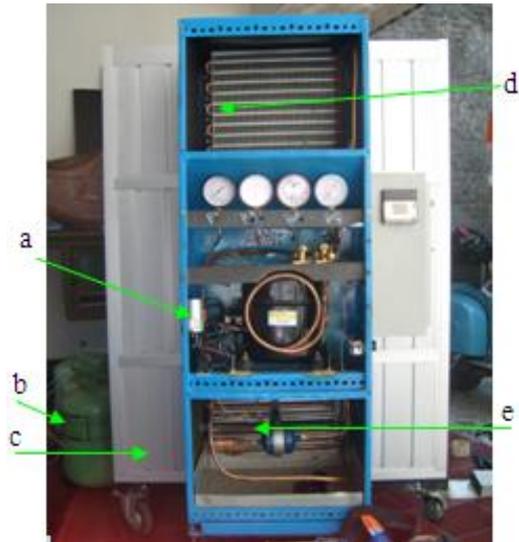
Komponen utama oven kayu integral HP/T *Collector* :

- a. Unit *Thermal Collector*, antara lain :
  - Cover berupa kaca transparan dengan dimensi panjang 1,18 m; lebar 0,85 m dan ketebalan 5 mm, berfungsi untuk mentransmisikan cahaya dan menghalangi cahaya supaya tidak keluar. Pemilihan material kaca ini karena mempunyai nilai emisivitas yang tinggi. Sifat-sifat kaca antara lain :
    - Emitansi kaca,  $\epsilon_c = 0,88$
    - Dianggap hanya sebagai transmisi dan penangkap sinar
  - Kolektor berupa plat terbuat dari seng (Zn) yang dicat hitam dengan dimensi panjang 1 m; lebar 0,85 m dan ketebalan 1 mm, berfungsi untuk menyerap (*absorpsi*) dan memantulkan (*refleksi*) energi panas dari cahaya. Sifat-sifat plat kolektor antara lain :
    - Konduktivitas thermal,  $k = 112,2 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$
    - Absorptansi plat kolektor,  $\alpha = 0,95$
    - Emitansi plat kolektor,  $\epsilon_p = 0,95$

- a. Unit *Condensing Heat Pump*, antara lain :
- Kondensor tipe multi laluan (*multi passage*)
  - Evaporator tipe *plate fin*
  - Kompresor dengan spesifikasi sebagai berikut:  
 Merk : Tecumseh, AE-Series 220–240 V/50 Hz 1 Phase, Kulthorn Commercial Compressor, KULTHORN CO. LTD  
 Model : AE7457GK-SR  
 Daya : 5/8 HP
  - Pipa kapiler
  - Refrigerant yang digunakan R-134a.

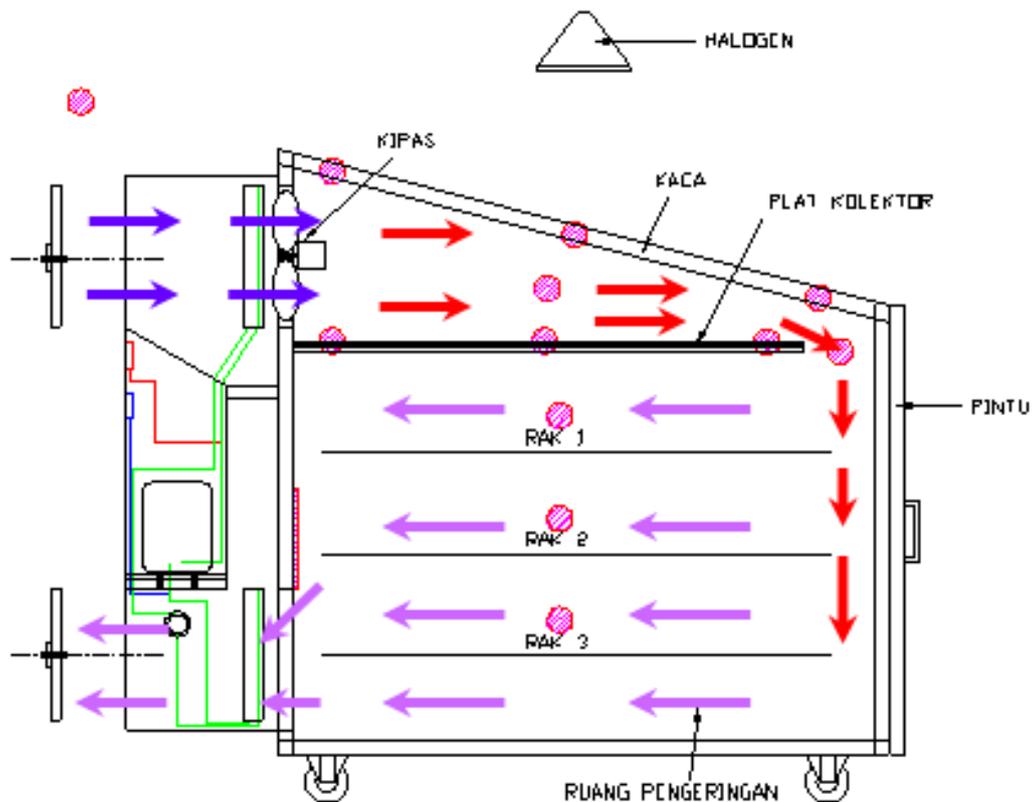


Gambar 5. Unit *thermal collector*.

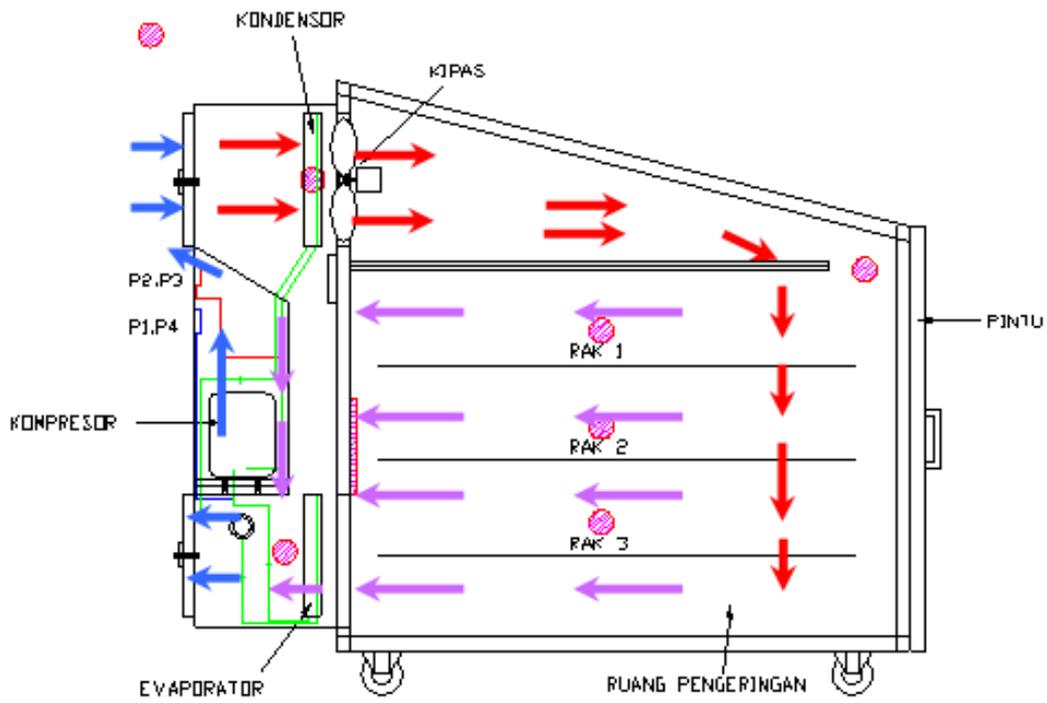


Gambar 6. Unit *heat pump*.

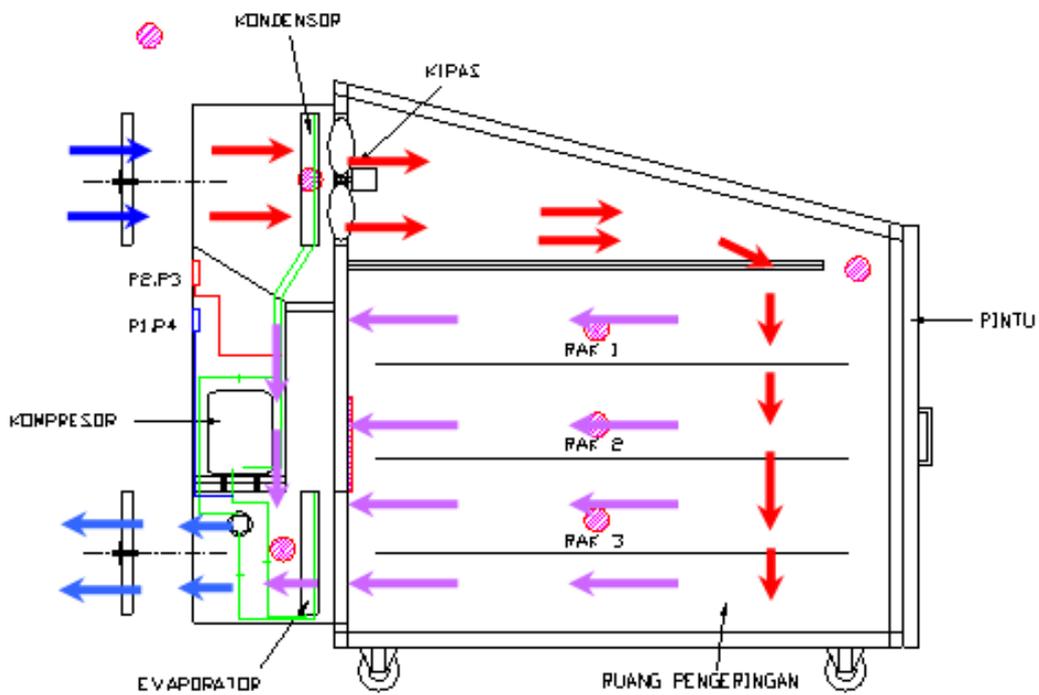
Keterangan :  
 a = Kompresor  
 b = Refrigerant  
 c = Pipa kapiler  
 d = Kondensor  
 e = Evaporator



a. Unit *thermal collector* siklus terbuka.



b. Unit *heat pump* siklus tertutup.



c. Unit *heat pump* siklus terbuka.

Gambar 7. Skema sirkulasi udara oven kayu sistem inetgral HP/T Collector.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian pada model oven kayu sistem integral HP/T *Collector* menjadi rujukan dalam melakukan *scale - up* dan desain rekayasa prototipe *hybrid mobile wood dryer*. Dari hasil pengolahan data didapatkan bahwa pada sistem kombinasi oven kayu sistem integral HP/T *Collector*, dimana unit *condensing heat pump* berfungsi untuk mempercepat proses pengeringan sedangkan unit *thermal collector* berfungsi untuk menurunkan biaya ekonomi pengoperasian, hal ini dapat dijelaskan dari

performansi sistem integral HP/T *Collector* seperti diuraikan di bawah ini.

Berdasarkan kondisi penelitian yang telah dilakukan, jika dilihat secara gabungan diperoleh hasil bahwa penggunaan kombinasi unit *condensing heat pump* terbuka dengan unit *thermal collector* terbuka (kombinasi II) lebih bagus daripada penggunaan kombinasi unit *condensing heat pump* tertutup dengan unit *thermal collector* terbuka (Kombinasi I), hal ini dapat diketahui pada uraian berikut ini :

**Tabel 1.** Parameter pengeringan yang diukur pada model oven kayu sistem integral HP/T *Collector*.

Parameter		Kombinasi I		Kombinasi II	
Massa air yang teruapkan (kg)	Jati	0,970	1,434	0,966	1,628
	Mahoni	0,464		0,662	
Laju pengeringan (kg/jam)	Jati	0,070 – 0,040		0,060 – 0,050	
	Mahoni	0,050 – 0,010		0,060 – 0,030	
Energi Spesifik ( $E_s$ ) MJ/kg		52,805		40,611	

**Tabel 2.** Nilai performansi rata-rata unit *thermal collector* dan unit *condensing heat pump*.

Unit	Parameter	Kombinasi I	Kombinasi II
<i>Thermal collector</i>	$Q_{use\ TC}$ (Joule)	1995,279	1772,892
	Efisiensi kolektor ( $\eta_c$ )	0,32603	0,28969
<i>Heat pump</i>	MER (kg air/jam)	0,139	0,101
	SMER (kg air/kwh)	0,335	0,276
	kisaran $COP_{HP\ ideal}$	5,24 ~ 4,55	5,02 ~ 4,68
	kisaran $COP_{HP\ aktual}$	4,26 ~ 3,49	3,94 ~ 3,23

**Tabel 3.** Nilai koefisien perpindahan panas konveksi rata-rata.

Unit	Kombinasi I		Kombinasi II	
	$\bar{h}_c$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	$\bar{Nu}$	$\bar{h}_c$ ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )	$\bar{Nu}$
Unit <i>heat pump</i>	26,556	261,423	19,054	187,946
Unit <i>thermal collector</i>	40,884	263,264	44,946	288,073

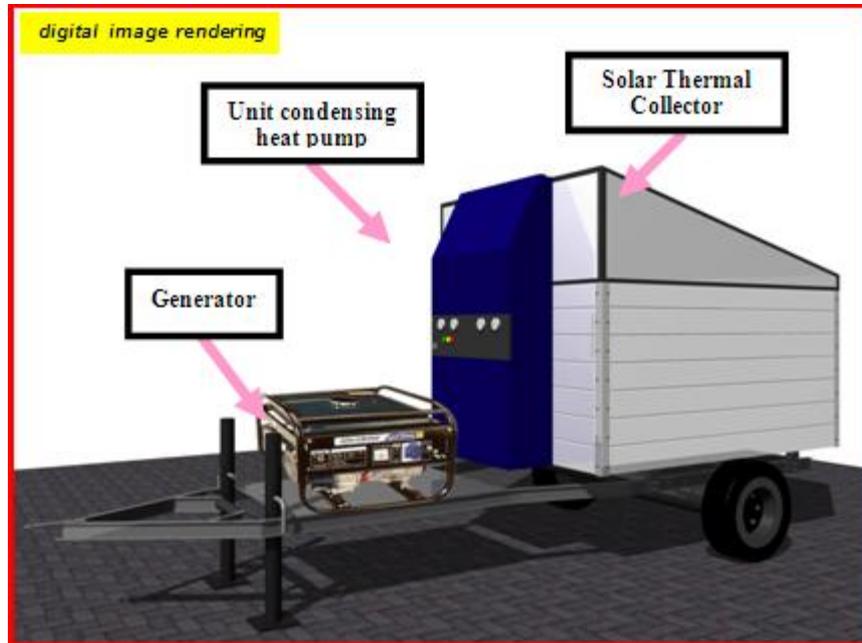
Pada tabel di atas terlihat Kombinasi I (unit *thermal collector* siklus terbuka dan unit *heat pump* sistem tertutup) mempunyai performansi *heat pump* dan *thermal collector* yang lebih baik dibandingkan dengan kombinasi II. Demikian juga dilihat dari nilai koefisien perpindahan konveksi rata-ratanya, kombinasi I lebih baik dibandingkan daripada kombinasi II. Sehingga dapat dikatakan bahwa penggunaan kombinasi sirkulasi aliran udara pada sistem integral HP/T *Collector* sangat berpengaruh terhadap performansinya.

Berdasarkan data - data parameter pengeringan, performansi dan nilai koefisien perpindahan panas konveksi rata - ratanya maka model oven kayu sistem integral HP/T *Collector* layak untuk dilakukan *scale - up* menjadi sebuah prototipe. Desain rekayasa prototipe dilakukan dengan mempertimbangkan lima faktor, yaitu fleksibilitas dan mobilitas oven kayu, kebutuhan kayu kering pengrajin mebel, efisiensi penggunaan sumber energi untuk proses pengeringan, sumber energi yang

ramah lingkungan, dan proses pengeringan yang singkat dan kontinu.

Atas pertimbangan di atas, maka didesain sebuah prototipe oven kayu yang disebut dengan *hybrid mobile wood dryer*, yaitu sebuah oven kayu yang mudah dipindah - pindahkan dan penggunaan sumber energi secara hibrida. Sumber energi yang digunakan adalah *heat pump dryer* dan *thermal collector*. *Heat pump dryer* menggunakan siklus kompresi uap (*vapor compression cycle*) dengan fluida kerja R-134a dan digunakan pada malam hari. Sedangkan *thermal collector* memanfaatkan tenaga matahari yang digunakan hanya pada saat ada radiasi panas matahari. *Heat pump dryer* menggunakan kompresor hermetik dengan daya 1½ PK. Kebutuhan listrik dari kompresor dapat menggunakan sumber listrik yang tersedia dari PLN atau menggunakan generator listrik sendiri. Prototipe *hybrid mobile wood dryer* mempunyai kapasitas pengeringan sebesar 2 m<sup>3</sup>. Inovasi teknologi ini akan diterapkan dan diujicobakan pada sentra industri mebel di Desa

Serenan Kecamatan Juwiring Kabupaten Klaten Propinsi Jawa Tengah di bawah pengelolaan Koperasi Mebel “MANUNGGAL JAYA”. Desain rekayasa *hybrid mobile wood dryer* dan gambar penampang terlihat pada Gambar 8 berikut ini.



Gambar 8. Desain rekayasa prototipe *hybrid mobile wood dryer*.

**KESIMPULAN**

1. Model oven sistem integral HP/T Collector dengan menggunakan sumber energi dari unit *condensing heat pump* dan *thermal collector* dapat digunakan untuk mengeringkan kayu dengan baik sesuai dengan tujuan komprehensif sebuah pengering kayu.
2. Performansi pengeringan berbeda berdasarkan siklus aliran udara yang mengalir pada dua kombinasi yang berbeda. Performansi terbaik ditunjukkan pada kombinasi I (unit *thermal collector* siklus terbuka dan unit *heat pump* sistem tertutup). Nilai optimal ditunjukkan pada nilai performansi *heat pump dryer* dan nilai koefisien konveksi rata - ratanya.
3. Model oven sistem integral HP/T Collector dijadikan rujukan dalam *scale - up* dan dalam desain rekayasa (*engineering design*) prototipe *hybrid mobile wood dryer*.
4. Prototipe *hybrid mobile wood dryer* akan diujicobakan dan diterapkan di sentra industri mebel Desa Serenan Kecamatan Juwiring Kabupaten Klaten Jawa Tengah di bawah pengelolaan Koperasi Mebel “MANUNGGAL JAYA”

**DAFTAR PUSTAKA**

Budianto, A.D., 1996, *Sistem Pengeringan Kayu*, Kanisius SMTIK - PIKA, Semarang.

Bannister, P., Carrington, G., dan Chen, G., \_\_\_\_, *Heat Pump Dehumidifier Drying Technology- Status, Potential and Prospects*, pp. 1.

Chen, G., Bannister, P., Carrington, C.G., dan Sun, Z., 2000, *Economic Performances of Enhanced Dehumidifier Kilns*, pp. 1 - 7.

Duffie, J.A., dan Beckman, W.A., 1991, *Solar Engineering of Thermal Processes*, John Wiley and Sons, New York.

Incropera, F.P., dan Dewit, D.P., 1990, *Fundamental of Heat and Mass Transfer*, John Wiley & Sons, New York.

Kumar, S. *et.al.*, 1999, *Experimental Studies on A Hybrid Dryer*, Energy Program, Asian Institute of Technology, Thailand.

Moran, M. J., dan Shapiro, H. N., 2000, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, 4<sup>th</sup> Edition, New York.

Mujumdar, A.S., 1995, *Handbook of Industrial Drying Second Edition Revised and Expanded*, Marcel Dekker Inc., New York.

Prasertsan, S. *et al*, 1997, “Heat Pump Dryer Part 3 : Experiment Verification of The Simulation”,

*International Journal Of Energy Research*, Vol. 21, pp. 707 - 722.

Prasertsan, S. dan Saen-Saby, P., 1998, "Heat Pump Drying of Agricultural Materials", *Drying Technology*, Vol.16, pp. 235-250.

Raghavan, G.S.V. *et al*, 2004, "Overview of New Technique for Drying Biological Materials with Emphasis on Energy Aspects", *Brazilian Journal of Chemical Engineering*.