

PENGARUH KECEPATAN GERAK DAN DAYA PEMANCAR PADA MESIN PENGERING KAYU YANG MENGGUNAKAN GELOMBANG MIKRO

Darmawan Utomo, Okki Doku, Yohanes Andiyanto Sandi

Fakultas Teknik – Universitas Kristen Satya Wacana

ABSTRACT

Conventional wood drying by the method of using hot air as a heating agent have a major weakness, it takes a long time to completely dry some wood. Usages of microwave as a wood dryer are commonly fast, but the device available in the market are not suitable for Indonesian wood characteristics. There for a prototype of microwave driven wood dryer has been built with the emitting power of two 800 watts microwave transmitter, adjustable power output, using conveyor as feeder with adjustable speed. The machine has been tested to do some research on the impact of giving speed and giving power of 100, 80 and 60 percent on local wood, such as Teak, Mahogany and Cedar wood. The wood samples that is used has a measurement of height is 2,5 cm and 5 cm, wide 5 cm, and length of 25 cm and 50 cm. From the experiment, a result has been archived that movement speed affect average evaporation speed per microwave transmitter, for Teak, Mahogany and Cedar is in corresponding order, is 4.09, 5.22 and 3.32 grams/minutes (on 100 percent power), 3.18, 4.45 and 3.56 grams/minutes (on 80 percent power) and 2.98, 3.98 and 3.32 grams/minutes (on 60 percent power). From the water evaporation value can be concluded that in order to evaporate 1 kg water from Teak wood, it requires 4 kWh of energy at 100 percent power outage.

Keywords : *dryer, wood, microwave, Teak, Mahogany, Cedar*

PENDAHULUAN

Riset mengenai penggunaan mikrowave dalam pengeringan kayu telah lama dilakukan. Antii (1999) dari Lulea University of Technology, Departement of Wood physics Sweden telah meneliti penggunaan mikrowave untuk memanaskan dan mengeringkan kayu. Hanson (2003) mengembangkan thesis doktoral Antii, dengan menerapkan mesin pengering mikrowave industri pada sistem pengering komponen kayu secara *on-line*. Tujuannya adalah untuk mengintegrasikan sistem ini ke dalam proses pengeringan secara menyeluruh. Hal utama yang menjadi studi adalah bagaimana merancang aplikator sehingga didapatkan hasil pengeringan yang lebih

merata dibandingkan dengan aplikator generasi sebelumnya.

Seyfarth (2003) mengamati kelemahan penggunaan mesin pengering yang menggunakan teknik vakum dan radiasi frekuensi tinggi. Pada teknik vakum didapati kelemahan pada pengelolaan tumpukan hasil kayu yang membutuhkan biaya penyimpanan dan alat-alat pendukungnya. Radiasi frekuensi tinggi hanya digunakan sebagai suplemen penggunaan mesin pemanas konvensional tanpa mengubah konfigurasi proses produksi. Mesin pengering dengan mikrowave dan vakum pada sistem pengering kontinyu diusulkan untuk mengatasi masalah ini karena proses mengeringkan kayu dengan mikrowave dan vakum memiliki keuntungan

pengeringan dalam orde menit dan dapat digunakan hanya papan tunggal sehingga tidak dibutuhkan tempat penyimpanan dan alat pendukung penyimpanan.

Hasil penelitiannya menunjukkan untuk kayu lunak Beech dibutuhkan waktu sekitar 2 menit dari kelembaban kayu (MC) 32% menjadi 8%, pada kayu Beech yang diuapi sebelumnya dari 58% menjadi 8% dibutuhkan 4 menit, dan kayu keras Oak dari 79% menjadi 12% dalam waktu 6 menit. Mikrowave vakum yang digunakan adalah dua 3 kW magnetron dengan ruang vakum sekitar 200 liter. Konsumsi energi yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 kg air dari dalam kayu diperoleh hasil sekitar 1,7 kWh. Pada pengering konvensional dibutuhkan antara 1,1 hingga 2,25 kWh.

Li (2007) mengukur karakteristik dari kayu *pinus massoniana* dengan menggunakan mesin oven mikrowave yang dimasukkan ke dalam mesin vakum. Kayu yang digunakan berukuran 10 cm x 10 cm dengan ketebalan bervariasi dari 2 cm hingga 6 cm. Hasil yang diperoleh dari percobaan ini adalah bahwa kecepatan pengeringan kayu ini hingga 0,8% per menit tanpa menghasilkan cacat. Selain itu penggunaan vakum tingkat tinggi hampir sama dengan tingkat rendah hanya sedikit membantu.

Eksperimen yang dilakukan oleh para peneliti menunjukkan betapa mesin

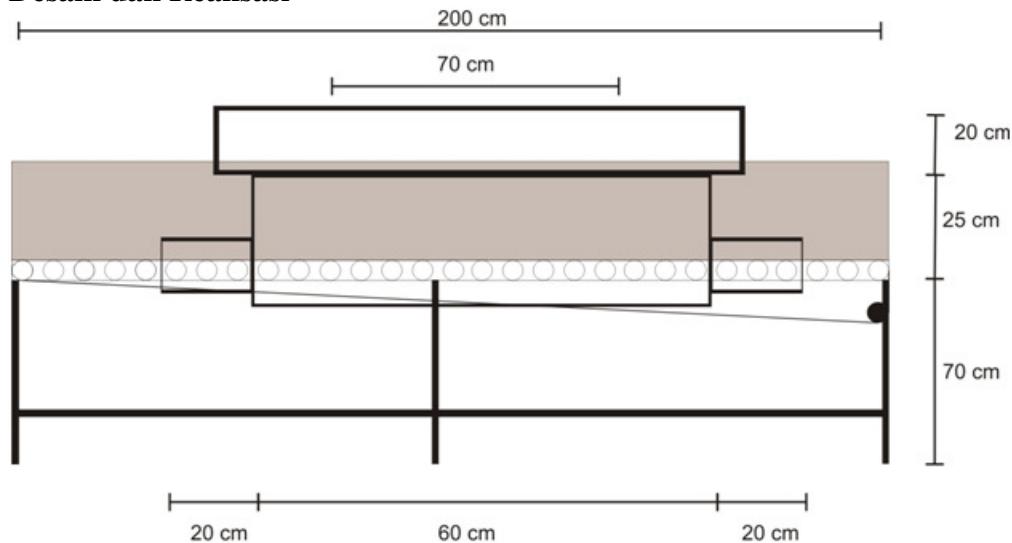
pengering dengan mikrowave bisa sangat signifikan membantu proses pengeringan kayu pada salah satu proses produksi kayu.

Rekaya perangkat keras dan penelitian ini menyesuaikan penelitian penggunaan mikrowave untuk mengeringkan kayu dengan menyesuaikan keadaan yang ada di industri perkayuan Jawa Tengah. Penyesuaian ini meliputi pembuatan mesin mikrowave yang sederhana dan murah, dan berjenis kayu lokal, yaitu Jati, Mahoni, dan Mindi. Dengan penyesuaian lokal diharapkan penelitian ini dapat berguna untuk industri perkayuan lokal khususnya dan perkayuan dunia.

BAHAN DAN METODA

Perekayasaan perangkat pendukung penelitian dan penelitian ini sendiri, dilakukan dalam lima tahap, yaitu desain dan perancangan, realisasi alat, pengujian alat, penelitian variabel pengeringan kayu serta dokumentasi penelitian. Masing-masing tahap dikerjakan secara berurutan. Variabel pengeringan kayu yang diteliti adalah lama pengenaan mikrowave pada kayu, daya mikrowave dan jenis kayu. Lama pengenaan mikrowave pada kayu diatur melalui kecepatan putaran roda. Daya mikrowave yang digunakan ada 3 tingkat, yaitu daya rendah, sedang dan tinggi.

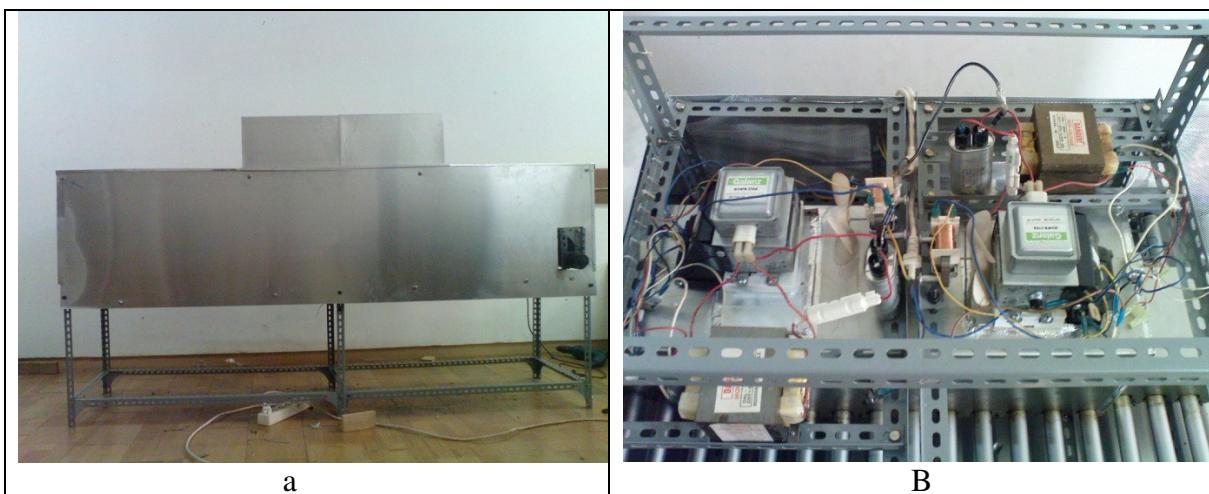
Desain dan Realisasi



Gambar 1. Desain Alat Pengering Kayu Menggunakan Mikrowave

Gambar 1 menunjukkan rancangan mesin pengering. Mesin ini terdiri atas beberapa bagian utama, yaitu roda berjalan, pembangkit mikrowave, ruang bakar, pelindung, dan motor penggerak. Roda berjalan berfungsi untuk melewatkannya kayu pada penghasil mikrowave. Kecepatan putar roda dikendalikan lewat panel kendali. Dengan mengendalikan kecepatan kayu, maka lama pengenakan mikrowave dapat diatur.

Ruang bakar merupakan tempat di mana kayu akan diberi paparan mikrowave. pelindung berfungsi sebagai pelepasan mikrowave yang keluar dari ruang bakar dan pelindung bagi operator. Motor yang digunakan adalah motor DC yang kecepatannya dikendalikan melalui PC dan penggerak motor. Realisasi rancangan prototipe ini diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Mesin Pengering Mikrowave (a) dengan Dua Mesin Mikrowave pada Sisi atas (b).

Bahan

Pengukuran sampel-sampel kayu dilakukan sebelum dilakukan percobaan yaitu dengan cara:

- a. Sampel kayu (Jati, Mahoni, Mindi) diukur:
 - 1) Asumsi massa jenis kayu yang digunakan berturut-turut dari Jati, Mahoni, dan Mindi adalah 0,583, 0,532, dan 0,440. Dua nilai ini diperoleh dari Berat, volume, nilai kelembaban kayu (alat ukur MC). Dicari yang memiliki $MC > 40\%$, jika tidak ada, ambil yang terbesar
 - 2) Buat 4 macam sampel pendek tipis, panjang tipis, pendek tebal, dan panjang tebal masing-masing dengan lebar sekitar 5 cm, Pendek sekitar 25 cm, Panjang sekitar 50 cm; Tipis sekitar 2,5 cm, Tebal sekitar 5 cm
 - 3) Buat 3 set masing-masing set untuk daya 100%, 80%, 60%
- b. Mesin Pengering Mikrowave:

Ada 2 pemancar : Satu pemancar untuk kayu berukuran pendek, Dua pemancar untuk kayu berukuran panjang
- c. Mencari nilai pemanasan awal, untuk masing-masing jenis dan tipe kayu, dengan cara Panaskan kayu sampel 2,5 menit lalu ukur suhunya, jika belum mencapai 100°C , ulangi langkah pertama hingga suhu kayu mencapai 100°C .
- d. Menguji sampel dengan urutan: Beri pemanasan awal sesuai percobaan sampel c, ukur berat kayu (MC meter tidak akurat saat suhu $> 30^{\circ}\text{C}$), beri pemanasan lagi, ukur beratnya tiap 2 menit hingga kayu terbakar atau nilai mc < 10 atau waktu total pemanasan $> 30-50$ menit atau tidak mengalami penurunan berat, dinginkan kayu lalu diukur lagi berat akhirnya, ulangi untuk tipe-tipe sampel kayu yang lain

Pengujian Model

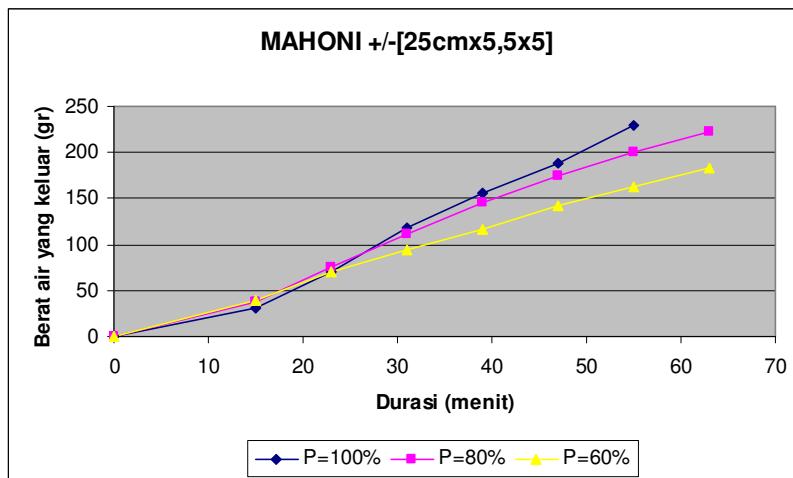
Pengujian model dilakukan dengan menjalankan rangkaian percobaan seperti yang sudah dijelaskan pada sub bab 2.2. Dari hasil dari percobaan dibuat grafik yang menyatakan hubungan antara berat air kayu yang keluar terhadap waktu pada jarak 30 cm, pada pemberian daya mikrowave 100%, 80%, dan 60%. Masing-masing dibuat untuk tiap jenis kayu dan untuk sampel-sampel pendek tipis, panjang tipis, pendek tebal, dan panjang tebal. Langkah berikutnya adalah menghitung regresi antara berat air kayu yang keluar terhadap waktu. Lalu dihitung nilai rata-rata regresi untuk masing-masing jenis kayu.

HASIL

Peubah yang digunakan pada percobaan ini adalah kecepatan, daya pancar mikrowave, dan jenis kayu. Kecepatan dinyatakan sebagai jarak terhadap waktu. Untuk memudahkan memahami hasil percobaan, kecepatan dilakukan pada jarak tetap yaitu 30 cm, sedangkan durasi radiasi mikrowave pada kayu ditampilkan bervariasi. Semakin lama berarti semakin lambat dan akan mengeluarkan air yang semakin banyak.

Untuk kayu pendek digunakan satu mikrowave, sedangkan untuk kayu panjang menggunakan dua mikrowave. Tujuan penggunaan dua mikrowave ini adalah untuk penggunaan kayu yang panjang, lebih dari 50 cm.

Satu hasil percobaan untuk Jati ditampilkan bentuk grafik dengan ukuran panjang tebal. Setelah menampilkan grafik, ditunjukkan pula hasil regresi yang menunjukkan hubungan jumlah air yang keluar dari kayu terhadap durasi pemberian mikrowave.



Gambar 3. Grafik Massa Air yang Keluar terhadap Waktu dengan Jarak 30 cm pada Mahoni Pendek Tebal

Persamaan regresi untuk Mahoni Pendek Tebal:

$$P (\text{Daya}) \ 100\% \quad U = 4,387 \times t$$

$$P (\text{Daya}) \ 80\% \quad U = 3,727 \times t$$

$$P (\text{Daya}) \ 60\% \quad U = 2,968 \times t$$

Catatan:

U = Berat Air yang Keluar (gr)

T = Waktu (menit)

Pada Tabel 1, ditunjukkan ringkasan dari hasil perhitungan rata-rata gradien regresi tanpa menghitung regresi kayu pendek tipis. Pada kayu pendek tipis diperoleh hasil anomali, pemparan daya yang lebih besar menghasilkan penguapan yang lebih kecil. Hal ini kemungkinan besar karena interferensi akibat daya besar yang tidak terserap oleh

kayu tipis. Perhitungan rata-rata ini mengasumsikan jika menggunakan dua mikrowave, akan dihasilkan daya yang sama. Oleh karena itu hasil regresi dari kayu panjang akan dianggap dua kali kayu pendek. Jadi pembagi rata-rata gradien regresi ini adalah 5, dua dari dua kayu berukuran panjang, dan satu kayu pendek.

Tabel 1. Rata-rata Gradien Regresi Pengurangan Berat Air terhadap Waktu dengan Jarak Tetap 30 cm untuk Satu Mesin Mikrowave.

Jenis Kayu	Koefisien Korelasi	Signif. F	Koefisien Regresi (gr/menit)		
			P=100%	P=80%	P=60%
Jati	0,94	0,22	4,09	3,18	2,98
Mahoni	0,99	0,09	5,22	4,45	3,98
Mindi	0,99	0,10	3,70	3,56	3,32

PEMBAHASAN

Pemberian daya yang makin tinggi memberikan efek kecepatan penguapan yang makin tinggi pula. Pengamatan pada hasil percobaan dengan

kayu yang tebal, tidak menunjukkan hasil yang merugikan, ini karena energi yang dipancarkan dapat diserap dengan baik oleh kayu tebal.

Dari Tabel 1, diperoleh data rata-rata penguapan terhadap kecepatan gerak. Semakin lambat akan membutuhkan waktu yang lebih lama. Waktu ini (t) akan dikalikan dengan koefisien regresi masing-masing kayu dan pada daya tertentu. Keeratan hubungan antara pemberian daya 100%, 80%, dan 60% ditunjukkan dengan koefisien korelasi. Pada kayu Mahoni dan Mindi diperoleh hasil yang sangat berkaitan sedangkan pada kayu Jati meskipun bernilai 0,94, tetapi nilai signifikan F-nya cukup besar dibandingkan Mahoni, dan Mindi. Secara umum trennya sudah sesuai dengan koefisien korelasinya.

Nilai koefisien regresi ini digunakan untuk menghitung berapa banyak uap air yang dikeluarkan. Dari berat yang hilang per satuan waktu ini digunakan untuk menghitung waktu yang dibutuhkan untuk menghilangkan massa air yang telah ditentukan sebelumnya.

Pada skenario umum, data-data awal kayu diketahui seperti volume kayu (vol), massa jenis (mj), massa kayu basah (mt). Lalu operator menentukan target *moisture content* (MCakhir). Berikut ini adalah penurunan rumus untuk mencari berapa lama waktu (T) yang diperlukan jika menggunakan kecepatan gerak kayu (V).

Langkah 1. Cari selisih massa awal dan massa akhir:

$$\text{Massa-akhir (sesuai target MCakhir)} = (M_0 + \text{massa-air})$$

$$MCakhir = \text{massa-air} / M_0$$

$$\text{Massa-akhir} = (1 + MCakhir) * M_0$$

$$M_h = \Delta \text{massa} = M_t - \text{Massa-akhir}$$

$$M_h = M_t - ((1+MCakhir) * M_0)$$

$$M_h = M_t - ((1+MCakhir) * m_j * vol)$$

Langkah 2. cari massa yang diuapkan saat kecepatan V:

t diperoleh saat V (jarak tetap 30 cm)

pada $V = 0,40 \text{ cm/menit} \rightarrow t = 30/V = 7,5 \text{ menit}$

Langkah 3. Hitung jumlah perulangan

$$U = A(\text{Jenis kayu}, P) * t$$

$$n = M_h / U$$

Langkah 4. Hitung total waktu yang diperlukan

$$T = n * t$$

$$T = M_h / U * t$$

$$T = M_h * t / (A(\text{Jenis Kayu}, P) * t)$$

$$T = M_h / (A(\text{Jenis Kayu}, P))$$

$$T = (Mt - ((1 + MCakhir) * mj * vol)) / A(\text{Jenis Kayu}, P)$$

Dimana:

A = Gradien/Koefisien regresi yang merupakan fungsi dari jenis kayu dan daya yang digunakan

mj = massa jenis (gr/cm^3)

vol = volume (cm^3)

Mt = massa total kayu basah sebelum dikeringkan (gr)

Mh = Massa air yang hilang (gr)

Mo = mj x vol = Massa kayu kering (gr)

U = kecepatan hilangnya air terhadap waktu (gr/menit)

T = Waktu yang digunakan untuk mengeringkan (menit)

t = Lama waktu yang digunakan untuk menjalani 30 cm (menit)

Untuk menghitung tingkat efisiensi energi yang digunakan dengan membandingkan antara energi masukan terhadap energi yang digunakan untuk pengeringan kayu. Efisiensi energi ini dapat diperoleh dengan menghitung jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air dalam kayu dan membandingkannya dengan konsumsi energi listrik dari mikrowave.

Energi yang digunakan untuk mengeringkan kayu tidak lain adalah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air yang terkandung di dalam kayu. Sebelum air dapat menguap, air terlebih dahulu mengalami proses pemanasan. Proses pemanasan air ini

diasumsikan merata pada tiap bagian kayu. Persamaan energi untuk pemanasan air adalah:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

Dimana :

Q adalah besaran energi

m adalah massa zat dalam hal ini air

c adalah kalor jenis zat yang merupakan sebuah konstanta kemampuan suatu zat dalam menyerap kalor. Nilai c untuk air adalah 4200 J/kgK

Dari salah satu percobaan didapat data-data sebagai berikut:

Kayu Jati dengan data awal:

Massa Jenis (g/cm^3)	Massa (g)	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tebal (cm)	Volume (cm^3)
0.583	1229	48.8	5.2	5.8	1471.81

Dari data di atas dapat dihitung massa air yang terkandung di dalam kayu. Diasumsikan bahwa kayu Jati tersebut hanya terdiri atas kayu dan air saja, sedangkan massa getah dan lain-lain diabaikan.

$$M_a = M_t - M_o$$

$$M_a = M_t - \rho \cdot V$$

$$M_a = 1229 - 0.583 \cdot 1471.81$$

$$M_a = 370.93$$

Sehingga jumlah energi yang diperlukan untuk memanaskan air tersebut sampai 100 derajat Celcius adalah:

$$E_{\text{pemanasan}} = m \cdot c \cdot \Delta t$$

$$E_{\text{pemanasan}} = 370.93 \cdot 10^{-3} \cdot 4200 \cdot 70$$

$$E_{\text{pemanasan}} = 109054.82 \text{ Joule}$$

Kayu tersebut diberi mikrowave selama 26 menit dengan daya 100%. Daya 100% memerlukan energi listrik 2400 Watt,

sehingga energi masukan dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{\text{input}} = 2400 * 26 * 60$$

$$E_{\text{input}} = 3744000 \text{ Joule}$$

Hasil akhir dari percobaan adalah sebagai berikut:

Massa akhir (g)	Penurunan Massa (g)
1013	216

Energi yang digunakan untuk menguapkan 216 gram air tersebut dapat dihitung sebagai berikut:

$$E_{\text{penguapan}} = m * L_v$$

Di mana L_v adalah kalor didih atau jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 kg zat. Sehingga jumlah energi yang diperlukan untuk menguapkan air dalam kayu adalah

$$E_{\text{penguapan}} = 216 * 10^{-3} * 2256 * 10^3$$

$$E_{\text{penguapan}} = 487296 \text{ Joule}$$

efisiensi energinya adalah:

$$\eta = \frac{E_{\text{terpakai}}}{E_{\text{input}}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{E_{\text{pemanasan}} + E_{\text{penguapan}}}{E_{\text{input}}} * 100\%$$

$$\eta = \frac{596350.82}{3744000} * 100\%$$

$$\eta = 15.93 \%$$

Efisiensi daya jika dibandingkan dengan hanya keluaran pemancar mikrowave sebesar 800 watt ditunjukkan pada Tabel 2. Daya keluaran 800 watt ini adalah nilai yang diberikan oleh pabrik pembuat mesin mikrowave.

Tabel 2. Efisiensi Daya Terhadap Keluaran Pemancar Mikrowave 800 watt

	Jati			Mahoni			Mindi		
	100%	80%	60%	100%	80%	60%	100%	80%	60%
Rata-rata	14,00	15,15	15,00	21,71	18,24	19,95	23,30	24,33	20,52
Rata-rata / kayu			14,71%			19,96%			22,71%

Sumber: Data Primer diolah

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan rata-rata effisiensi pengeringan kayu Jati, Mahoni, dan Mindi berturut-turut sebesar 14,71%, 19,96%, dan 22,71%. Dari Tabel 4.8 dan 4.9 dapat disimpulkan bahwa efisiensi terendah hingga tertinggi berturut-turut dari kayu Jati, Mahoni, dan Mindi.

Ditinjau dari energi yang dikeluarkan untuk menguapkan satu kg air, mesin pengering konvensional membutuhkan sekitar 1,1-2,25 kWh/kg-uap. Mesin pengering yang digunakan oleh Seyfarth mencapai efisiensi 1,7 kWh/kg-uap. Sesuai dengan tabel rata-rata penguapan air per menit diperoleh hasil seperti pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsumsi daya untuk menguapkan air dari dalam kayu sebanyak satu kg.

	Kecepatan air yang keluar dari kayu (gr/menit)			Kecepatan air yang keluar dari kayu (kg/jam)			Konsumsi daya untuk mengeluarkan 1 kg air kayu (kWh/kg-uap)		
	100%	80%	60%	100%	80%	60%	100%	80%	60%
	gr/menit	gr/menit	gr/menit	Kg/jam	Kg/jam	Kg/jam			
Jati	4,09	3,18	2,98	0,25	0,19	0,18	4,07	4,19	3,36
Mahoni	5,22	4,45	3,98	0,31	0,27	0,24	3,19	3,00	2,51
Mindi	3,7	3,56	3,32	0,22	0,21	0,20	4,50	3,75	3,01
									Rata-rata 3,51

Sumber: Data Primer

Tampak jelas pada Tabel 3, jika dibandingkan dengan pengering konvensional maupun dengan mesin pengering skala industri dengan mikrowave dan vakum yang digunakan Seyfarth, hasil yang diperoleh membutuhkan energi sekitar dua kali lipat lebih banyak atau tingkat efisiensi mesin ini terhadap konvensional mencapai 50%.

SIMPULAN

Mesin pengering berbasis mikrowave telah berhasil dibuat dan digunakan untuk mengeringkan kayu. Untuk kayu Jati pada pemberian daya 100%, 80%, dan 60 % berturut-turut diperoleh hasil gradien penguapan air sebesar 4,09, 3,18, dan 2,98 gr/menit. Untuk kayu Mahoni pada pemberian daya 100%, 80%, dan 60 % berturut-turut diperoleh hasil gradien penguapan air sebesar 5,22, 4,45, dan 3,98 gr/menit dan kayu Mindi pada pemberian daya 100%, 80%, dan 60 % berturut-turut diperoleh

hasil gradien penguapan air sebesar 3,70, 3,56, dan 3,32 gr/menit.

Efisiensi energi dihitung dengan membandingkan energi yang digunakan untuk pemanasan dan penguapan terhadap energi listrik yang digunakan. Hasil yang diperoleh efisiensi berturut-turut dari terendah adalah Jati, Mahoni, dan Mindi dengan pencapaian 14,71%, 19,96%, dan 22,71%. Sedangkan jika efisiensi energi jika dibandingkan dengan mesin konvensional hanya mencapai sekitar 50% atau 3,51 kWh untuk menguapkan 1 kg air dari dalam kayu.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didanai oleh Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah melalui program Riset Unggulan Daerah Provinsi Jawa Tengah tahun anggaran 2007 serta memanfaatkan fasilitas Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Kristen Satya Wacana – Salatiga.

DAFTAR PUSTAKA

- Dodong, Budianto A. 1996. *Sistem Pengeringan Kayu*, Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- Hansson, L, *Design and Performance of an Industrial Drier for On-Line Drying Wood Components*, 8th International IUFRO Wood Drying Conference, 2003.
- Li, X J, et al. 2007. *Microwave Vacuum Drying Characteristics of Pinus Massoniana Wood*, Forestry Studies in China, vol 9, No. 1.
- Seyfarth, R., et al, *Continuous Drying of Lumber in a Microwave Vacuum Kiln*, 8th International IUFRO Wood Drying Conference, 2003.