

**Analisis Performa Oven Berbasis Refrigerasi untuk Pengeringan Kayu*****Performance Analysis of Refrigeration-Based Oven for Wood Drying*****Yudha Ariq Maulana¹, Samsudin Anis^{1,a)}**¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Semarang^{a)}Corresponding author: samsudin_anis@mail.unnes.ac.id**Abstrak**

Proses pengeringan kayu merupakan tahap penting dalam industri furnitur dan konstruksi karena berpengaruh terhadap kestabilan dimensi dan kualitas produk akhir. Penelitian ini bertujuan menganalisis performa oven pengering kayu berbasis sistem refrigerasi dalam menurunkan kadar air kayu mahoni pada berbagai kondisi operasi. Metode yang digunakan adalah eksperimen langsung melalui tiga pengujian dengan kondisi operasi yang berbeda, yaitu pengujian pertama menggunakan mode *dry* dengan *vacuum blower* pada putaran maksimum, pengujian kedua menggunakan mode *cool* pada suhu target 21 °C dengan *vacuum blower* sekitar 40 V, dan pengujian ketiga menggunakan kondisi yang sama dengan penambahan kipas distributor untuk meningkatkan sirkulasi udara. Setiap pengujian menggunakan sepuluh sampel kayu mahoni dan berlangsung selama 24 jam. Parameter yang diamati meliputi perubahan kadar air, massa kayu, suhu, dan kelembapan relatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada mode *dry* kadar air kayu menurun dari 29,2-35,8% menjadi 12,9-18,8%, sedangkan pada mode *cool* kadar air menurun dari 21,17-23,53% menjadi 10,83-12,03%. Pengujian dengan penambahan kipas distributor menghasilkan penurunan kadar air dari 21,35-22,75% menjadi 11,60-13,45% dengan distribusi pengeringan yang lebih seragam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mode *cool* menghasilkan proses pengeringan yang lebih stabil dibandingkan mode *dry*, sedangkan penambahan kipas distributor meningkatkan pemerataan sirkulasi udara di dalam ruang oven. Sistem pengering berbasis refrigerasi berpotensi menjadi alternatif pengeringan kayu dengan pengendalian suhu dan kelembapan yang lebih baik.

Kata Kunci: pengeringan kayu; sistem refrigerasi; kadar air; kayu mahoni

Abstract

Wood drying is a crucial process in the furniture and construction industries because it directly affects dimensional stability and the quality of the final product. This study aims to analyze the performance of a refrigeration-based wood drying oven in reducing the moisture content of mahogany wood under different operating conditions. An experimental method was conducted through three drying tests with different operating configurations. The first test was performed in dry mode with the vacuum blower operating at maximum speed. The second test was conducted in cool mode at a target temperature of 21 °C with the vacuum blower supplied at approximately 40 V. The third test employed the same operating conditions as the second test, with the addition of a circulation fan to improve air distribution inside the drying chamber. Each test used ten mahogany wood specimens and was carried out for 24 hours. The observed parameters included moisture content, wood mass, temperature, and relative humidity. The results showed that, in the dry mode, the moisture content decreased from 29.2-35.8% to 12.9-18.8%. In the cool mode, the moisture content decreased from 21.17-23.53% to 10.83-12.03%. The third test, with the additional circulation fan, reduced the moisture content from 21.35-22.75% to 11.60-13.45%, while providing a more uniform drying process. Overall, the cool mode produced a more stable drying process than the dry mode, and the addition of a circulation fan improved air distribution within the drying chamber. These findings indicate that a refrigeration-based wood drying system has the potential to serve as an alternative wood drying method with better temperature and humidity control.

Keywords: wood drying; refrigeration system; moisture content; mahogany wood

PENDAHULUAN

Kayu berasal dari berbagai macam jenis pohon dengan karakteristik yang beragam. Variasi sifat kayu dapat terjadi baik antar spesies maupun dalam satu batang pohon yang sama, seperti bagian pangkal dan ujungnya. Kayu bersifat higroskopik, sehingga kadar airnya dipengaruhi oleh kelembapan dan temperatur lingkungan. Karakteristik ini berpengaruh pada kestabilan ukuran kayu dan dapat menimbulkan cacat seperti retak, melengkung, atau penyusutan tidak merata apabila kadar air tidak terkontrol. Kondisi ini tentu merugikan, terutama pada industri furnitur dan konstruksi yang menuntut kestabilan dimensi serta kualitas visual produk. Oleh karena itu, proses pengeringan kayu menjadi tahap penting sebelum kayu siap digunakan. Diharapkan dengan cara ini, kayu tidak akan mengalami perubahan bentuk atau retak akibat perubahan kondisi lingkungan. Perlakuan proses pengeringan yang baik menghasilkan kadar air yang memenuhi standar industri [1].

Pengeringan dapat dilakukan secara konvensional maupun menggunakan alat pengering, yang berfungsi sebagai media terjadinya proses perpindahan panas. Pengeringan alami dengan penjemuran di bawah sinar matahari memiliki kelemahan, seperti ketergantungan pada kondisi cuaca, membutuhkan waktu yang relatif lama, dan risiko kontaminasi [2]. Untuk mengatasi hal tersebut, berbagai teknologi pengeringan telah dikembangkan, salah satunya dengan memanfaatkan alat pengering yang dilengkapi sistem perpindahan panas. Penukar kalor merupakan perangkat yang digunakan untuk mentransfer panas antara dua fluida dengan perbedaan temperatur tanpa terjadi pencampuran, karena keduanya dipisahkan oleh dinding pemisah [3]. Penggunaan penukar kalor memungkinkan suhu pengeringan dinaikkan dan dikontrol secara lebih terukur. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa peningkatan temperatur pengeringan dapat mempercepat laju pengeringan, sehingga waktu yang diperlukan untuk mencapai kadar air yang ditargetkan menjadi lebih singkat [4].

Pengeringan kayu adalah fase krusial dalam proses pengolahan kayu untuk mencapai kestabilan dimensi, mencegah kerusakan, dan meningkatkan kualitas serta nilai jual produk akhir. Proses pengeringan kayu masih menjadi bidang penelitian yang aktif karena berperan besar terhadap efisiensi energi serta kualitas produk akhir [5]. Seiring meningkatnya perhatian terhadap efisiensi energi dan dampak lingkungan, sistem pengering berbasis *heat pump* atau refrigerasi mulai banyak diteliti sebagai alternatif pengeringan konvensional. Sistem ini bekerja dengan prinsip sirkulasi udara tertutup dan pemanfaatan kembali panas dari proses kondensasi, sehingga secara teoritis mampu menekan konsumsi energi. Kondisi ini

memungkinkan pengeringan berlangsung pada suhu rendah, mempercepat proses penguapan air, dan mengurangi risiko cacat termal [6]. Oleh karena itu, pengendalian suhu dan kelembapan sangat penting untuk menemukan keseimbangan antara efisiensi waktu pengeringan dan kualitas produk [7].

Metode pengeringan tradisional yang memanfaatkan udara panas atau pembakaran bahan bakar fosil masih sering digunakan dalam industri. Walaupun metode ini tidak rumit, ada beberapa kelemahan yang signifikan. Tingginya konsumsi energi dan pelepasan panas ke lingkungan menyebabkan efisiensi energi yang rendah. Selain itu, kesulitan dalam mengontrol suhu pengeringan sering kali berpengaruh negatif terhadap kualitas kayu akibat retak, penyusutan yang tidak merata, serta perubahan sifat mekanik. Dari segi keselamatan, sistem berbasis pembakaran berisiko menimbulkan kebakaran serta menghasilkan emisi asap yang berdampak buruk bagi lingkungan [8].

Beberapa solusi telah dikembangkan untuk mengatasi masalah ini, seperti pengeringan menggunakan udara panas yang dilengkapi kontrol suhu, kombinasi udara panas dan inframerah, serta pengeringan dengan metode *vacuum*. Metode gabungan udara panas dan inframerah terbukti mengurangi konsumsi energi spesifik dan memberikan hasil pengeringan yang lebih merata dibandingkan teknik konvensional [9]. Pengeringan *vacuum* juga menunjukkan efisiensi waktu yang lebih baik dan menghasilkan kualitas yang lebih stabil. Namun, kedua metode tersebut memiliki beberapa batasan, antara lain biaya awal yang tinggi, sistem yang kompleks, dan tantangan implementasi bagi industri kecil hingga menengah [10].

Meski demikian, penerapan sistem pengering berbasis refrigerasi untuk kayu di iklim tropis masih sangat sedikit. Sebagian besar penelitian sebelumnya berfokus pada pengembangan dan optimasi sistem *heat pump drying* atau dilakukan pada skala laboratorium dengan jenis kayu yang berbeda, sehingga hasilnya belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi pengeringan kayu tropis pada industri kecil dan menengah. Selain itu, penelitian terdahulu umumnya berfokus pada evaluasi performa sistem *heat pump* secara umum, sedangkan kajian eksperimental mengenai pengaruh variasi kondisi operasi sistem refrigerasi dan sirkulasi udara terhadap performa pengeringan kayu mahoni pada suhu rendah masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini mengevaluasi performa oven pengering berbasis sistem refrigerasi melalui tiga konfigurasi operasi yang berbeda untuk menganalisis perubahan kadar air, massa kayu, suhu, dan kelembapan relatif selama proses pengeringan [11].

Berbeda dengan metode pengeringan konvensional yang umumnya menggunakan suhu tinggi, penelitian ini mengevaluasi performa sistem pengering kayu berbasis

refrigerasi pada suhu rendah (21 °C). Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan proses pengeringan yang lebih terkontrol, stabil, serta meminimalkan risiko cacat pengeringan, khususnya pada kayu tropis dengan tingkat kelembapan awal yang tinggi. Refrigerasi merupakan proses pemindahan panas dari suatu material, baik padat, cair, maupun gas, dengan tujuan menurunkan suhu atau mendinginkan material tersebut [12]. Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas tentang perpindahan panas dan performa sistem refrigerasi. Peningkatan laju aliran massa air pendingin menurunkan temperatur keluaran air kondensor, namun meningkatkan panas yang dilepaskan kondensor serta daya kompresor. Nilai *Coefficient of Performance* (COP) cenderung menurun setelah mencapai titik maksimum [13]. Sementara itu, penurunan temperatur refrigeran pada kondensor dapat meningkatkan nilai COP karena berkurangnya beban kerja kompresor berkurang [14]. Fenomena kondensasi juga bisa ditemui pada *Air Conditioner* (AC), kulkas, maupun kondenser skala besar seperti pada pembangkit listrik [15].

Pada sistem refrigerasi jenis lain seperti AC, peningkatan kecepatan putaran kipas kondensor menyebabkan peningkatan efek refrigerasi dan berdampak pada naiknya nilai COP sistem [16]. Pembersihan sirip kondensor dan evaporator pada AC *split wall* dengan refrigeran R22 juga terbukti mampu meningkatkan kinerja kedua komponen tersebut [17]. Selain itu, laju aliran media pendingin memiliki pengaruh signifikan terhadap temperatur dan efisiensi sistem pendingin, di mana laju aliran yang lebih tinggi cenderung meningkatkan efektivitas perpindahan panas [18].

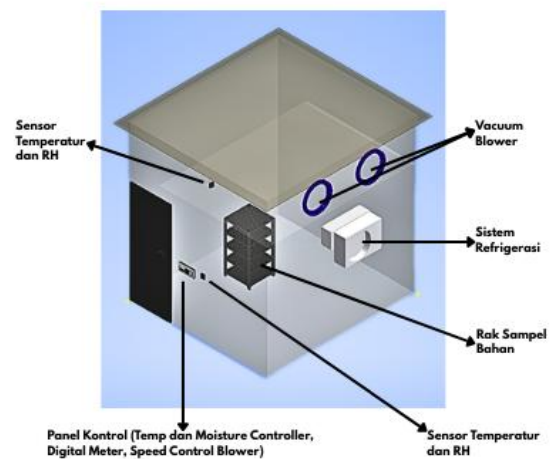
Berdasarkan hal ini, riset tentang pengeringan kayu menggunakan sistem refrigerasi menjadi sangat relevan untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan data eksperimental mengenai performa pengeringan kayu tropis berdasarkan perubahan kadar air, massa kayu, suhu, dan kelembapan relatif pada tiga konfigurasi operasi sistem refrigerasi. Dari perspektif akademis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya referensi mengenai teknologi pengering berbasis refrigerasi dan penerapannya pada pengeringan kayu tropis. Dari segi praktis, hasil penelitian diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem pengering kayu berbasis refrigerasi dengan pengendalian suhu dan kelembapan yang lebih baik untuk diterapkan pada industri berskala kecil hingga menengah.

METODE PENELITIAN

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah potongan kayu mahoni yang diperoleh dari limbah kayu dan mebel yang ada di Semarang, Jawa Tengah. Kayu mahoni dipilih karena ketersediaannya yang melimpah serta karakteristiknya yang umum digunakan dalam

industri furnitur. Pada setiap kondisi pengujian digunakan sebanyak sepuluh sampel kayu mahoni dengan dimensi yang sama dan arah serat memanjang sejajar dengan sisi terpanjang sampel. Sampel dipilih dengan kondisi awal yang relatif seragam berdasarkan hasil pengukuran kadar air awal dan massa awal. Sebelum proses pengeringan, seluruh sampel diberi kode identifikasi, kemudian diukur massa awal menggunakan timbangan digital dan kadar air awal menggunakan *moisture meter*.

Skema eksperimen penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Konfigurasi sistem pengering berbasis refrigerasi ini terdiri dari unit AC sebagai sumber pendinginan dan dehumidifikasi, *vacuum blower* sebagai alat sirkulasi udara, rak sampel bahan, serta sensor suhu dan RH yang ditempatkan di dalam ruang oven. Penempatan rak dan sensor diatur sedemikian rupa untuk memperoleh distribusi udara dan pengukuran kondisi ruang yang representatif. Sistem pengering yang digunakan terdiri atas dua sub sistem utama, yaitu sub sistem refrigerasi dan sub sistem sirkulasi udara pengering. Sub sistem refrigerasi berfungsi untuk menurunkan suhu udara dan mengondensasikan uap air, sedangkan sub sistem sirkulasi udara berfungsi untuk mendistribusikan udara kering ke dalam ruang pengering.



Gambar 1. Skema penelitian siklus pengering sistem refrigerasi

Pada sub sistem refrigerasi, refrigeran R410A dikompresi oleh kompresor sehingga tekanan dan temperatur refrigeran meningkat. Refrigeran bertekanan tinggi kemudian mengalir menuju kondensor untuk melepaskan panas ke lingkungan, sehingga berubah fase menjadi cair. Selanjutnya, refrigeran cair melewati katup ekspansi yang menyebabkan penurunan tekanan dan temperatur. Refrigeran kemudian masuk ke evaporator, di mana terjadi proses penyerapan panas dari udara lembap di dalam ruang pengering. Pada tahap ini, uap air di udara mengembun pada permukaan evaporator sehingga kelembapan udara menurun. Udara yang telah mengalami

penurunan kelembapan kemudian disirkulasikan kembali ke dalam ruang pengering oleh *vacuum blower*. Aliran udara kering ini melewati permukaan kayu pada rak pengering, sehingga terjadi proses perpindahan massa berupa penguapan air dari dalam kayu ke udara. Udara lembap yang terbentuk selanjutnya kembali diarahkan menuju evaporator untuk mengalami proses dehumidifikasi ulang, sehingga terbentuk siklus pengeringan tertutup.

Alat utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem refrigerasi, yang berfungsi sebagai sumber pendinginan dan pengatur kelembapan pada ruang oven. Sistem menggunakan AC Split Daikin berkapasitas 1 PK dengan refrigeran R410A yang memiliki karakteristik tekanan operasi tinggi, efisiensi termal yang baik, serta umum digunakan pada sistem pendingin modern. Sistem refrigerasi secara umum terdiri atas komponen kondensor, katup ekspansi, evaporator, dan kompresor [6]. Selain itu digunakan berbagai alat ukur untuk memantau kondisi suhu dan *Relative Humidity* (RH), *Moisture Content* (MC), dan massa kayu pada setiap interval waktu pengamatan. Monitoring suhu dan kelembapan secara kontinu diperlukan untuk mengevaluasi performa sistem pengering [2].

Oven pengering memiliki dimensi 2,87 m x 2,66 m x 2,98 m dan dilengkapi dengan *vacuum blower* untuk membantu sirkulasi udara dan pengeluaran uap air dari ruang oven. Alat, fungsi, dan spesifikasi ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat, fungsi, dan spesifikasi yang digunakan dalam penelitian

No	Nama alat	Fungsi	Spesifikasi
1.	Ruang Oven	Tempat untuk mengeringkan kayu	Ukuran ruang: 2,87 m x 2,66 m x 2,98 m
2.	AC Split Daikin	Mengurangi kelembapan udara di dalam ruang oven melalui sistem refrigerasi	Daya 1 PK, refrigeran R410A, mode <i>cool</i> dan mode <i>dry</i>
3.	<i>Vacuum Blower</i>	Mendistribusikan udara panas secara merata	Tegangan operasi: 40 V, dan maksimum (224 V), pengaturan putaran
4.	Sensor temperatur dan RH	Memantau kondisi udara dalam ruang pengering	Tipe STC-3028 dan ATuMan
5.	<i>Moisture meter</i>	Mengukur MC kayu pada setiap sampel	Rentang pengukuran 0-99,9%. Akurasi 0,5%
6.	Timbangan digital	Mengukur massa kayu pada setiap sampel	Akurasi 0,1 gram
7.	Rak sampel bahan yang dikeringkan	Menyusun sampel kayu agar distribusi udara merata di dalam oven	Rangka baja berlubang, 5 tingkat

Dengan menggunakan rangkaian alat tersebut, seluruh proses pengeringan dapat dikontrol dan diamati secara langsung untuk memperoleh data suhu, kelembapan, serta perubahan MC dan massa kayu selama proses berlangsung. Data hasil pengukuran ini selanjutnya digunakan untuk menganalisis performa sistem pengering berbasis refrigerasi serta menentukan efektivitas proses pengeringan pada berbagai kondisi operasi.

Prosedur Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen langsung untuk mengetahui kinerja sistem pengering kayu berbasis refrigerasi. Detail tahapan penelitian sebagai berikut:

1. Persiapan Bahan

Kayu mahoni dipersiapkan dan diberi kode sampel. Tiap sampel ditimbang untuk memperoleh massa awal dan diukur kadar air awalnya menggunakan moisture meter.

2. Persiapan Alat Pengering

Sistem refrigerasi dirakit dan diperiksa secara menyeluruh untuk memastikan tidak ada kebocoran pada sambungan pipa maupun ruang pengering. Sensor suhu, sensor kelembapan, dan *data logger* dipasang pada beberapa titik strategis di dalam ruang pengering.

3. Proses Pengeringan

Kayu dimasukkan ke dalam oven dan disusun pada rak pengering. Proses pengeringan dilakukan dengan menyalakan sistem refrigerasi.

4. Pengambilan data mode *dry* dan mode *cool*

Proses eksperimen pengeringan kayu dilakukan menggunakan tiga parameter operasi sistem refrigerasi yang berbeda. Pengambilan data pertama dilakukan menggunakan mode *dry* dengan *vacuum blower disetting* pada putaran maksimum, sedangkan pencatatan data hanya dilakukan pada awal dan akhir proses pengeringan (24 jam). Selanjutnya, pengambilan data kedua dan ketiga dilakukan menggunakan mode *cool* dengan suhu target 21 °C, *vacuum blower disetting* sekitar 40 volt, serta pencatatan data dilakukan setiap 4 jam selama 24 jam. Pada pengambilan data ketiga, terdapat penambahan kipas distributor di dalam ruang oven.

Ketiga konfigurasi tersebut dirancang untuk membandingkan performa sistem pengering pada kondisi operasi yang berbeda. Oleh karena itu, perubahan mode operasi sistem refrigerasi dan pengaturan *vacuum blower* dilakukan secara bersamaan pada setiap konfigurasi pengujian. Penelitian ini tidak bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh masing-masing parameter secara terpisah sehingga pengaruh individual mode operasi maupun

kecepatan *vacuum blower* belum dianalisis. Evaluasi terhadap masing-masing parameter secara independen menjadi ruang lingkup penelitian selanjutnya.

Setelah proses pengeringan selesai, dilakukan pengukuran massa akhir dan kadar air akhir kayu dengan prosedur yang sama seperti pengukuran awal. Data hasil pengujian selanjutnya dianalisis untuk memperoleh informasi kinerja pengeringan.

Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan mengevaluasi perubahan massa dan kadar air kayu selama proses pengeringan. Penurunan massa kayu selama proses pengeringan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta m = m_{awal} - m_{akhir} \quad (1)$$

Persentase penurunan massa kayu dinyatakan dengan persamaan:

$$\Delta m(\%) = \frac{m_{awal} - m_{akhir}}{m_{awal}} \times 100\% \quad (2)$$

Penurunan massa kayu selama proses pengeringan menunjukkan berkurangnya kadar air dalam kayu sebagai akibat dari proses perpindahan massa antara kayu dan udara pengering. Penurunan kadar air selama proses pengeringan dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\Delta MC = MC_{awal} - MC_{akhir} \quad (3)$$

Persentase penurunan kadar air dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Penurunan MC}(\%) = \frac{MC_{awal} - MC_{akhir}}{MC_{awal}} \times 100\% \quad (4)$$

Laju pengeringan kayu dinyatakan sebagai perubahan kadar air terhadap waktu pengeringan:

$$R_{MC} = \frac{MC_{t_1} - MC_{t_2}}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

Keterangan :

R : laju pengeringan (%/jam),

MC_{t_1} : kadar air pada waktu t_1 (%),

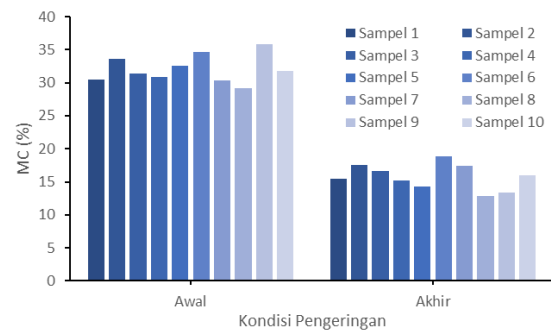
MC_{t_2} : kadar air pada waktu t_2 (%),

Δt : selang waktu pengeringan (jam).

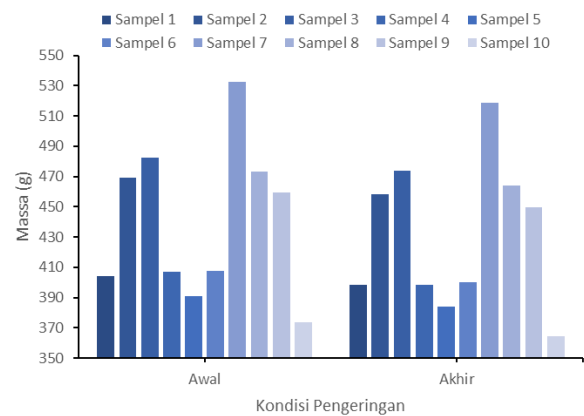
Laju pengeringan dihitung berdasarkan perubahan kadar air terhadap waktu pengeringan. Data suhu dan RH dianalisis untuk mengetahui kondisi operasi sistem refrigerasi terhadap performa pengeringan kayu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 2 menunjukkan hasil pengeringan kayu mahoni menggunakan parameter mode *dry* dan *vacuum blower* yang dikondisikan pada putaran maksimum.



(a)

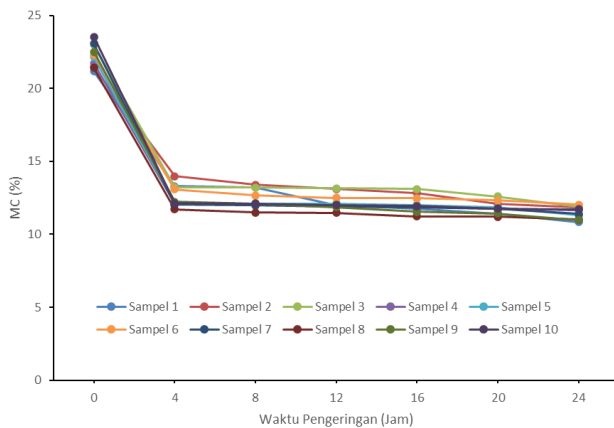


(b)

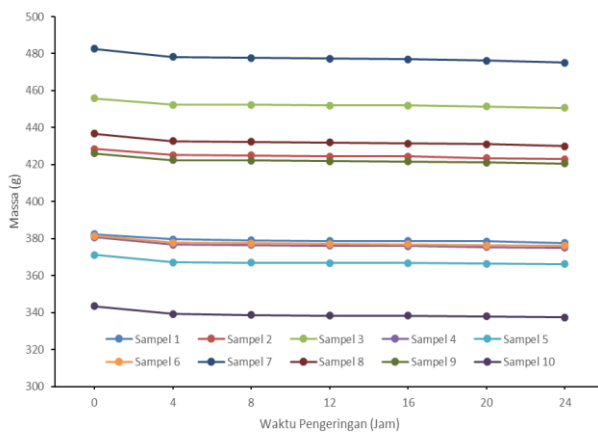
Gambar 2. Perbandingan MC sampel (a) dan massa sampel (b) pada kondisi awal dan akhir setelah pengeringan selama 24 jam

Berdasarkan data pengujian, kadar air awal kayu berada pada rentang sekitar 29,2 hingga 35,8%, kemudian turun menjadi 12,9 hingga 18,8% setelah 24 jam pengeringan. Penurunan MC tersebut diikuti oleh penurunan massa kayu, di mana massa awal berada pada kisaran 373,7 hingga 532,3 g dan menurun menjadi 364,3 hingga 518,7 g pada akhir pengeringan. Penurunan massa tersebut mengindikasikan adanya pelepasan air selama proses pengeringan, meskipun nilai MC pada penelitian ini diperoleh menggunakan digital moisture meter dan belum diverifikasi dengan metode *oven-dry*. Fenomena ini sejalan dengan teori pengeringan bahan higroskopis, di mana laju penguapan air paling tinggi terjadi pada *constant rate period* sebelum memasuki *falling rate period* [19]. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan mode *dry* mampu menurunkan kadar air kayu selama proses pengeringan.

Gambar 3 menunjukkan hasil pengeringan kayu mahoni menggunakan parameter mode *cool*, suhu target 21 °C, dan *vacuum blower* dikondisikan pada tegangan sekitar 40 volt.



(a)



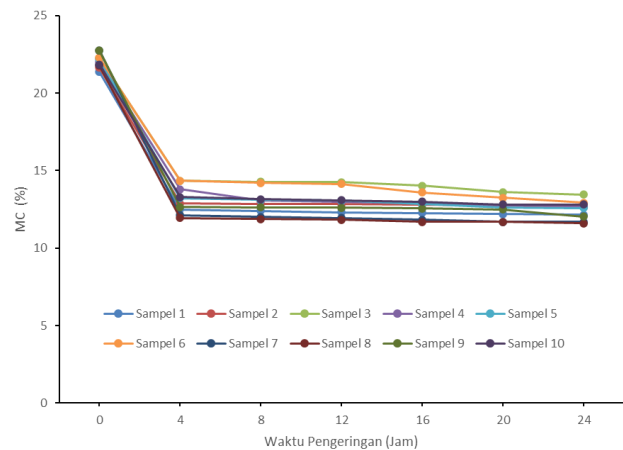
(b)

Gambar 3. Profil penurunan MC sampel (a) dan massa sampel (b) selama proses pengeringan 24 jam

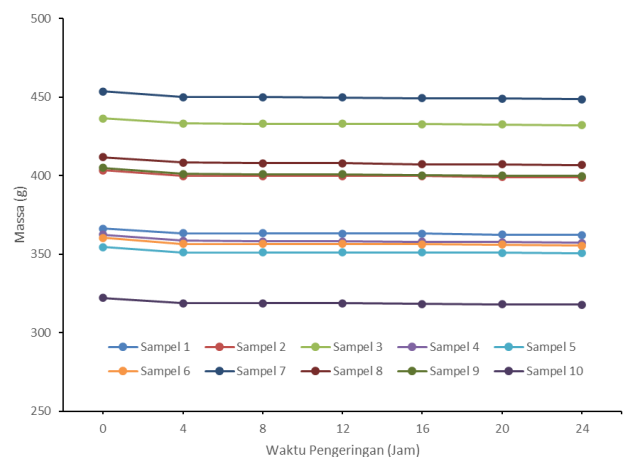
Hasil pengujian menunjukkan bahwa MC awal kayu berada pada rentang 21,17 hingga 23,53%, kemudian menurun secara bertahap hingga mencapai sekitar 10,83 hingga 12,03% setelah 24 jam pengeringan. Pola penurunan MC pada mode *cool* berlangsung lebih stabil dibandingkan mode *dry*, dengan fluktuasi nilai MC antar sampel yang relatif kecil. Penurunan massa kayu juga menunjukkan pola yang sejalan dengan penurunan MC. Massa awal kayu berada pada kisaran 343,4 hingga 482,6 g dan menurun secara bertahap hingga 317,4 hingga 475,2 g pada akhir pengeringan. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan massa kayu didominasi oleh penguapan air, dan proses pengeringan berlangsung lebih terkendali. Stabilitas proses pengeringan pada mode *cool* disebabkan oleh pengaturan suhu yang lebih terkontrol, sehingga fluktuasi suhu dan RH di dalam oven relatif kecil. Pengaturan suhu pada sistem refrigerasi berperan penting dalam menjaga keseimbangan antara laju penguapan air dan difusi kelembapan dari dalam kayu. Oleh karena itu, penggunaan mode *cool* dengan suhu target 21 °C menghasilkan proses pengeringan yang lebih seragam.

Gambar 4 menunjukkan hasil pengeringan kayu mahoni menggunakan parameter mode *cool*, suhu target 21

°C, dan *vacuum blower* pada tegangan sekitar 40 volt, serta penambahan kipas distributor.



(a)



(b)

Gambar 4. Profil penurunan MC sampel (a) dan massa sampel (b) selama proses pengeringan 24 jam

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar air awal kayu berada pada rentang 21,35 hingga 22,75%, kemudian menurun menjadi sekitar 11,6 hingga 13,45% setelah 24 jam pengeringan. Penurunan MC pada pengujian ini relatif merata antar sampel dibandingkan pengujian sebelumnya, meskipun penurunan kadar air total tidak jauh berbeda dibandingkan pengambilan data kedua. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan kipas distributor mampu meningkatkan distribusi aliran udara di dalam ruang oven, sehingga proses perpindahan panas dan massa berlangsung lebih efektif. Penurunan massa kayu juga menunjukkan pola yang lebih konsisten. Massa awal kayu berada pada kisaran 322,2 hingga 453,7 g dan menurun menjadi 317,8 hingga 448,7 g pada akhir pengeringan. Pola penurunan massa yang lebih seragam menunjukkan bahwa peningkatan sirkulasi udara mampu memperbaiki performa perpindahan panas dan massa selama proses pengeringan. Distribusi aliran udara yang baik merupakan faktor penting dalam proses pengeringan kayu, karena dapat mengurangi

gradien kelembapan di dalam ruang pengering dan meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan massa [20]. Kondisi dan hasil setiap pengujian ditunjukkan pada Tabel 2. Kondisi dan hasil setiap pengujian

Tabel 2. Kondisi dan hasil setiap pengujian

Parameter	Pengujian 1	Pengujian 2	Pengujian 3
Mode	Dry	Cool	Cool
Suhu Target	Otomatis	21 °C	21 °C
Vacuum Blower	Maksimum (224 V)	40 V	40 V
MC Awal (%)	29,2-35,8	21,17-23,53	21,35-22,75
MC Akhir (%)	12,9-18,8	10,83-12,04	11,6-13,45

Secara umum, pada tahap awal pengeringan penurunan kadar air kayu berlangsung relatif cepat. Namun, seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan, laju penurunan kadar air semakin menurun karena kandungan air yang tersisa dalam kayu semakin sedikit sehingga proses penguapan menjadi lebih sulit. Dengan kata lain, semakin rendah kadar air bahan, maka semakin lambat laju pengeringannya [4]. Selama proses pengeringan tidak ditemukan retak, penyusutan dimensi, maupun *warping* yang terlihat secara visual pada sampel kayu. Namun, penelitian ini tidak melakukan pengukuran atau evaluasi kuantitatif terhadap kualitas akhir kayu, sehingga aspek tersebut belum dapat dianalisis secara lebih mendalam.

Berdasarkan hasil tiga pengujian, performa sistem pengering berbasis refrigerasi pada mode *dry* dan mode *cool* menunjukkan karakteristik yang berbeda, khususnya dari sisi kestabilan suhu dan RH. Pada pengujian dengan mode *dry*, suhu ruang oven relatif tidak banyak berubah, yaitu dari sekitar 26,2 °C pada awal pengeringan menjadi 25,9 °C pada akhir proses. Namun, nilai RH justru meningkat dari 83,6% menjadi 86,8%. Kondisi ini menunjukkan bahwa proses dehumidifikasi pada mode *dry* kurang efektif dalam menjaga kelembapan udara selama pengeringan. Sebaliknya, pada mode *cool* dengan suhu target 21 °C, RH cenderung menurun secara bertahap, yaitu dari 85,3% pada awal pengeringan hingga mencapai sekitar 63%. Penurunan RH ini menunjukkan bahwa pengendalian kelembapan berlangsung lebih efektif dibandingkan mode *dry*. Kestabilan ini terlihat lebih baik lagi pada pengujian ketiga dengan penambahan kipas distributor.

Jika dibandingkan dengan metode pengeringan konvensional (pengeringan alami atau oven konvensional), sistem pengering berbasis refrigerasi menunjukkan keunggulan dalam hal waktu pengeringan dan kontrol kondisi lingkungan. Pengeringan alami kayu umumnya membutuhkan waktu beberapa hari hingga minggu tergantung kondisi lingkungan, sedangkan pada penelitian

ini proses pengeringan dapat dilakukan dalam waktu 24 jam dengan kondisi yang lebih terkontrol [21]. Selain itu, penggunaan sistem refrigerasi memungkinkan pengaturan suhu dan kelembapan yang lebih presisi, sehingga kualitas kayu hasil pengeringan dapat lebih terjaga dan risiko cacat pengeringan dapat diminimalkan.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem pengering kayu berbasis refrigerasi memiliki performa yang baik dalam menurunkan kadar air dan massa kayu secara efektif dalam waktu yang relatif singkat. Hasil pengujian juga menunjukkan bahwa performa oven akan lebih baik ketika dioperasikan dalam mode *cool*. Hal ini karena mode *cool* dengan pengaturan suhu dan sirkulasi udara yang optimal memberikan performa pengeringan yang paling stabil dan merata, sehingga berpotensi menjadi metode pengeringan kayu yang lebih efisien dibandingkan metode konvensional.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung melalui pendanaan skema Penelitian Terapan Nomor 124.2.6/UN37/PPK.11/2025.

PENUTUP

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa oven pengering berbasis sistem refrigerasi mampu menurunkan MC kayu mahoni. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mode *cool* menghasilkan proses pengeringan yang lebih stabil dan merata dibandingkan mode *dry* pada kondisi pengujian yang dilakukan. Mode *cool* dengan pengaturan suhu target 21 °C dan penambahan kipas distributor mampu menghasilkan penurunan kadar air kayu yang lebih stabil dan merata pada seluruh sampel. Penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena perubahan mode operasi sistem refrigerasi dan pengaturan *vacuum blower* dilakukan secara bersamaan pada setiap konfigurasi pengujian, sehingga pengaruh masing-masing parameter terhadap performa pengeringan belum dapat dievaluasi secara terpisah. Selain itu, penelitian ini belum mengukur konsumsi daya listrik maupun parameter efisiensi energi, sehingga aspek efisiensi energi sistem refrigerasi belum dapat disimpulkan. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan menggunakan rancangan eksperimen yang memvariasikan setiap parameter secara independen serta mengevaluasi konsumsi energi sistem untuk memperoleh analisis performa yang lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Teodorescu, R. Erbasu, J. M. Branco, and D. Tapusi, "Study in the changes of the moisture

- content in wood,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 664, no. 1, May 2021, [doi: 10.1088/1755-1315/664/1/012017](https://doi.org/10.1088/1755-1315/664/1/012017).
- [2] T. Prasetyo and I. Irawan, “Perancangan Sistem Online Monitoring Evacuated Tube Solar Dryer Studi Kasus Proses,” vol. 16, no. 1, pp. 521–530, 2025, [doi: 10.21776/jrm.v16i1.2142](https://doi.org/10.21776/jrm.v16i1.2142).
 - [3] I. B. Alit and I. G. B. Susana, “Pengaruh Kecepatan Udara Pada Alat Pengering Jagung Dengan Mekanisme Penukar Kalor,” vol. 11, no. 1, pp. 77–84, 2020, [doi: 10.21776/ub.jrm.2020.011.01.9](https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2020.011.01.9).
 - [4] A. M. Farhan, Q. Ibrahim, and G. Hardinasinta, “Effect of Air Velocity and Grain Mass on Drying Rate of Inpari 42 Variety Grain Using Fluidized Bed Dryer,” vol. 01, no. 1, pp. 22–30, 2023. [doi: 10.70124/salaga.v1i1.1140](https://doi.org/10.70124/salaga.v1i1.1140).
 - [5] D. Elustondo, N. Matan, T. Langrish, and S. Pang, “Advances in wood drying research and development,” *Drying Technology*, vol. 41, no. 6, pp. 890–914, 2023, [doi: 10.1080/07373937.2023.2205530](https://doi.org/10.1080/07373937.2023.2205530).
 - [6] L. Gao *et al.*, “A comprehensive review of heat pump wood drying technologies,” *Energy*, vol. 311, pp. 1–20, 2024, [doi: 10.1016/j.energy.2024.133241](https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133241).
 - [7] I. P. S. W. Dinda Mar’atuzzahwa, I Made Supartha Utama*, “Pengaruh Ketebalan dan Suhu Pengeringan Terhadap Karakter Fisik dan Sensoris Buah Naga Merah Kering,” vol. 11, no. 1, pp. 50–61, 2023. [doi: 10.24843/JBETA.2023.v11.i01.p06](https://doi.org/10.24843/JBETA.2023.v11.i01.p06).
 - [8] E. Hajian *et al.*, “High temperature drying of sawn timber — A review,” *Drying Technology*, vol. 42, no. 9, pp. 1397–1414, 2024, [doi: 10.1080/07373937.2024.2365858](https://doi.org/10.1080/07373937.2024.2365858).
 - [9] X. Sun, Z. Guo, G. Wang, C. Cai, and Z. Wang, “Hot Air Drying , Impact Of Infrared Drying , And Combined Hot Air-Infrared Drying On Alfalfa Drying Quality And Performance,” vol. 71, no. 3, pp. 441–450, 2023. [doi: 10.35633/inmateh-71-38](https://doi.org/10.35633/inmateh-71-38).
 - [10] S. K. Nurten Coskun, Sumeyye saritas, Yassine Jaouhari, Matteo Bordiga, “The Impact of Freeze Drying on Bioactivity and Physical Properties of Food Products,” vol. 14, pp. 1–30, 2024. [doi: 10.3390/app14209183](https://doi.org/10.3390/app14209183).
 - [11] A. Prasetyadi, “Characteristics of Wooden Furniture Drying Machine,” vol. 4, no. 1, pp. 75–88, 2022, [doi: 10.24071/ijasst.v4i1.4755](https://doi.org/10.24071/ijasst.v4i1.4755).
 - [12] A. Pranoto, H. Al Kindi, and G. E. Pramono, “Analisis Pengaruh Cleaning Tubing Kondensor Terhadap Performa Sistem Refrigerasi Mesin Water Cooled Chiller Kapasitas 650tr,” vol. 14, no. 1, pp. 351–362, 2023, [doi: 10.21776/jrm.v14i1.1337](https://doi.org/10.21776/jrm.v14i1.1337).
 - [13] B. Hb and L. Narasimhaswamy, “Experimental Thermal Performance Comparison in the condenser of Heat Pump System using R22 and R134a Refrigerants,” vol. 5, no. 12, pp. 941–946, 2024, [doi: 10.55248/gengpi.5.1224.3425](https://doi.org/10.55248/gengpi.5.1224.3425).
 - [14] K. Cao, Y. Yuan, Z. Su, and X. Li, “Effects Of The Air Volume On Cooling Performance Of A Refrigeration System,” vol. 27, no. 3, pp. 1865–1871, 2023. [doi: 10.2298/TSCI2303865C](https://doi.org/10.2298/TSCI2303865C).
 - [15] S. A. Hadi Rahmad, Zulfa Khalida, “Analisa Transfer Panas Pada Kondensasi Luar Dengan Menggunakan Refrigerant R- 134a,” vol. 13, no. 2, pp. 383–391, 2022. [doi: 10.21776/jrm.v13i2.998](https://doi.org/10.21776/jrm.v13i2.998).
 - [16] R. Muliawan, N. Khakim, I. Azmy, B. YP, M. Falahuddin, and I. Azmy, “The Effect Of Variations Speed Of The Condenser Fan With Control Frequency Inverter On The Ice Slush Machine Application,” vol. 14, no. 2, pp. 86–94, 2022, [doi: 10.53893/austenit.v14i2.4955](https://doi.org/10.53893/austenit.v14i2.4955).
 - [17] K. Y. Utomo, A. Zayadi, A. Sugiharto, S. Wismanto, C. Hp, and A. R. Madaskala, “Analisis Sebelum Dan Sesudah Dilakukan Proses Pembersihan Terhadap Performa Ac Tipe Split Wall Kapasitas 1 1/2 Pk,” vol. 6, no. 1, 2021. [doi: 10.35894/jtk.v6i1.19](https://doi.org/10.35894/jtk.v6i1.19).
 - [18] Y. Lv, Z. Wei, Q. Ge, F. Yang, and S. Yang, “Research on the Flow and Heat Transfer Characteristics of a Water-Cooling Plate in a Heat Dissipation System,” vol. 118, no. 6, pp. 1855–1867, 2021, [doi: 10.32604/EE.2021.015248](https://doi.org/10.32604/EE.2021.015248).
 - [19] M. Božiková, Z. Hlavá, M. Bil, and P. Hlavá, “Modeling of drying curves of wood and wood insulation,” vol. 2611, 2022. [doi: 10.1063/5.0119502](https://doi.org/10.1063/5.0119502).
 - [20] Y. F. Görgülü and M. Aydin, “Computational Fluid Dynamics and Thermal Analysis of an Unloaded Lumber-drying Kiln,” vol. 23, no. 1, pp. 64–74, 2023. [doi: 10.17475/kastorman.1269521](https://doi.org/10.17475/kastorman.1269521).
 - [21] K. Mishra, M. K. Dubey, S. S. Chauhan, and A. K. Sethy, “Radio frequency-assisted drying of wood: a comprehensive review,” 2024. [doi: 10.1080/17480272.2024.2344041](https://doi.org/10.1080/17480272.2024.2344041).