

Simulasi Pengering Tenaga Surya Untuk Kayu Iroko (*Chlorophora Excelsa*) di Suhu Tropis

Simulation of A Solar Drier for Iroko Wood (*Chlorophora Excelsa*) in A Tropical Environment

Fesa Putra Kristianto*, Mercusuar Kemall Gibran Salim

^{a,b}Poiteknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu, Jl. Wanamarta Raya No. 20 Kawasan Industri Kendal, Kendal, 51371, Indonesia

Artikel histori :

Diterima 31 Oktober 2022
Diterima dalam revisi 7 Januari 2023
Diterima 9 Januari 2023
Online 1 Maret 2023

ABSTRAK: Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Simo Tagne dengan mendesain pengering tenaga surya berdasarkan persamaan matematis untuk kayu iroko di Kamerun, Afrika. Akan tetapi belum adanya simulasi secara menyeluruh atas proses pengeringan pada alat tersebut, mengakibatkan belum detailnya penjabaran atas proses pengeringan kayu iroko. Tujuan dari penelitian ini adalah mensimulasikan secara detail proses pengeringan pada alat tersebut dengan menggunakan simulasi ANSYS. Model yang digunakan dalam simulasi ini masih menggunakan model matematis yang sama yang telah diteliti sebelumnya. Penelitian ini dimulai dengan mensetting aplikasi ANSYS dengan model matematis sebelumnya, kondisi lingkungan, dan spesifikasi alatnya. Selanjutnya dilakukan simulasi dengan aplikasi ANSYS dengan pengukuran tekanan, suhu, kecepatan dan perpindahan massa. Dari simulasi ini didapatkan hasil untuk distribusi tekanan, suhu, kecepatan, dan perpindahan massa. Dari semua distribusi tersebut cukup menggambarkan proses pengeringan alat tersebut sesuai model matematis yang telah diteliti sebelumnya.

Kata Kunci: Permodelan Matematis; Pengering Tenga Surya; ANSYS

ABSTRACT: In a previous study conducted by Simo Tagne to designing a solar dryer based on mathematical equations for iroko wood in Cameroon, Africa. However, there is no complete simulation of the drying process on the tool, resulting in the lack of detailed elaboration of the iroko wood drying process. The purpose of this study is to simulate in detail the drying process on the tool using an ANSYS simulation. The model used in this simulation still uses the same mathematical model that has been studied before. This research begins by setting up the ANSYS application with the previous mathematical model, environmental conditions, and tool specifications. Furthermore, simulations are carried out using the ANSYS application with measurements of pressure, temperature, velocity and mass transfer. From this simulation obtained results for the distribution of pressure, temperature, velocity, and mass transfer. From all these distributions, it is sufficient to describe the drying process of the tool according to the mathematical model that has been studied previously.

Keywords: Mathematical Modeling; Solar Dryer; ANSYS

1. Pendahuluan

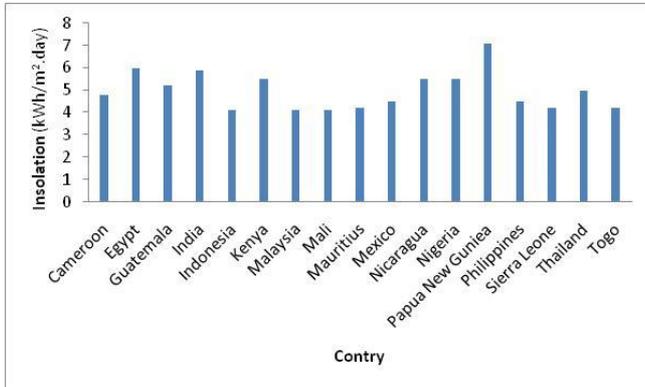
Kayu adalah bahan alami, terbarukan, murah dan mudah didapat. Akan tetapi kayu memiliki kelemahan yaitu bersifat higroskopis. Sifat higroskopisnya akan membuat kayu sensitive terhadap kelembapan, mudah diserang serangga, mudah rusak, mengalami penyusutan dan perubahan bentuk. Kayu tropis umumnya memiliki ketahanan yang besar terhadap serangga atau mikrobiologi lainnya serta tidak mudah retak atau pecah. Banyak kayu tropis yang digunakan untuk furnitur dan konstruksi eksterior. Salah satunya adalah kayu Iroko dari Kamerun Afrika. Oleh karena itu proses pengeringan menjadi sangat penting untuk kualitas kayu Iroko (Kačiková et al., 2020).

Kamerun memiliki potensi matahari yang baik dengan rata-rata radiasi matahari mencapai 4,5 – 5,8 kWh/m² setiap

hari (Ayangma et al., 2008). Data di Indonesia rata-rata radiasi matahari mencapai 4,8 kWh/m² perhari. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Lealea & Tchinda, 2013) dan (Njomo & Wald, 2007) menjelaskan perkiraan radiasi matahari dari banyak kota Kamerun dan Indonesia secara umum. Gambar 1 menyajikan posisi radiasi matahari di berbagai Negara berkembang. Dalam beberapa proses pengeringan, metode pengeringan dengan sinar matahari adalah metode yang paling sesuai dikarenakan suhu pengeringan yang optimal dan proses penguapan dapat berjalan secara alami (*Natural Convection*). Oleh karena itu pengeringan dengan radiasi matahari tidak mengakibatkan keretakan atau kerusakan kayu (Simo-Tagne et al., 2017).

* Corresponding Author: +628-5784371540; fax : +294 3692732
Email: fesa.putra@poltek-furnitur.ac.id

Dalam perkembangannya pengering surya dengan dinding kaca atau penyimpan energi sangat mahal di aplikasikan di Negara berkembang (Bekkioui et al., 2011). Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut dibutuhkan untuk pengembangan pengering tenaga surya. Salah satu aspek terpenting dari pengering tenaga surya adalah permodelan dan simulasi.



Gambar 1. Radiasi Matahari di Beberapa Negara Berkembang (Weiss & Buchinger, 2012)

Tujuan permodelan dan simulasi adalah untuk memungkinkan para insinyur memilih metode yang tepat untuk pengering untuk produk tertentu serta kondisi operasi yang sesuai. Eksperimen skala penuh dan konfigurasi sistem secara detail sangatlah mahal dan tidak layak. Oleh karena itu, prediksi dari permodelan dan simulasi sangatlah penting dalam desain dan optimasi pengering. Tujuan dari penelitian ini adalah mensimulasikan distribusi aliran udara dan massa diseluruh ruang pengering menggunakan simulasi CFD. Simulasi dilakukan pada beberapa bidang horizontal didalam ruangan pengering (Aukah & Muvengei, 2015). Kondisi lingkungan pada penelitian ini dilakukan di Yaounde, Kamerun pada tanggal 22 November hingga 12 Desember 2004.

2. Metode Penelitian

2.1 Permodelan

2.1.1 Permodelan Desorpsi Isoterm

Untuk kesetimbangan kadar air (X_{eq}) sebagai fungsi suhu (T , K) dan kelembaban relative fraksional (HR) diperoleh:

$$X_{eq} = \frac{b_1 X_m HR}{(1-b_2 HR)(1-b_2 HR+b_1 HR)} \quad (1a)$$

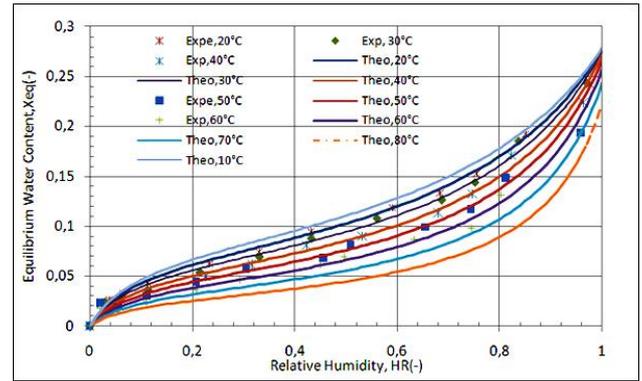
$$X_m = -7,33 \times 10^{-4} T + 0,286; R^2 = 0,994 \quad (1b)$$

$$b_2 = 1,931 \exp\left(\frac{-2308,798}{RT}\right); R^2 = 0,919 \quad (1c)$$

$$b_1 = 27,827 \exp\left(\frac{-2135,87}{RT}\right); R^2 = 0,324 \quad (1d)$$

Fraksi kadar air pada titik jenuh kayu (X_{psf}) diperoleh dengan menggunakan persamaan (1a) dengan nilai 1 untuk kelembaban relative. Kemudian persamaan (1b), (1c), dan (1d) dimasukkan dalam persamaan (2) dan diplot dengan fungsi suhu pada Gambar 2 (Kemajou et al., 2012).

$$X_{fsp} = \frac{b_1 X_m}{(1-b_2)(1-b_2+b_1)} \quad (2)$$



Gambar 2. Isotem eksperimen dan teoritis (model Dent) dari desorpsi kayu Iroko

2.1.2 Data Radiasi Sinar Matahari

Proses pengeringan dilakukan di Younde Kamerun. Setelah menggunakan data dari (Kemajou et al., 2012), kemudian kita menggunakan persamaan (3a) dan (3b) dari hubungan nilai eksperimental difusi dan isolasi global pada bidang horizontal di Yaounde. Koordinat geografis Yaounde adalah: Garis Lintang 3,87°, Garis Bujur 11,52° dan ketinggian 720 m (David & Ngwa, 2013).

$$D = 0,12152 t^4 - 5,44546 t^3 + 76,93216 t^2 - 349,09338 t + 357,73432; R^2 = 0,99967 \quad (3a)$$

$$G_t = 0,5168 t^4 - 24,19623 t^3 + 386,86802 t^2 - 2427,06266 t + 5207,34134; R^2 = 0,9988 \quad (3b)$$

Untuk iradiasi global pada bidang miring 10° pada dinding 90°.

$$G_t * (10^\circ) = -0,02411 t^5 + 1,86434 t^4 - 53,12658 t^3 + 685,0667 t^2 - 3906,6173 t + 8037,91894; R^2 = 0,9988 \quad (3c)$$

$$G_t * (wall) = -0,12073 t^4 - 5,32896 t^3 + 74,29878 t^2 - 332,08327 t + 312,788; R^2 = 0,9988 \quad (3d)$$

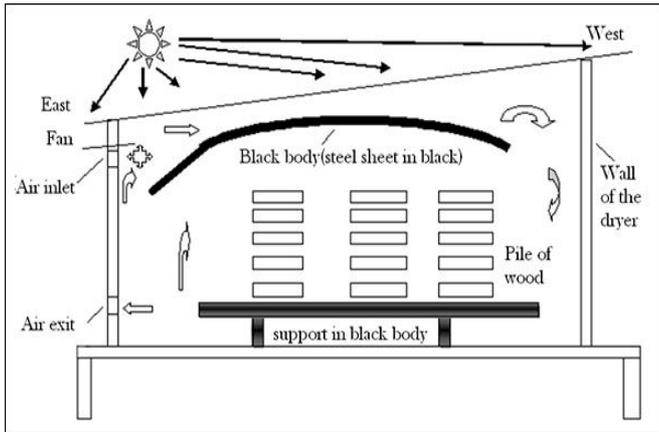
Dimana t dalam jam dan waktu pengeringan per hari dari jam 6 AM hingga 6 PM. Pada malam hari G_t^* sama dengan nol.

2.1.3 Desain Pengering Tenaga Surya

Kipas angin yang digunakan adalah tipe SK012/4EHBWC dengan daya listrik sebesar 0,37 kW, kecepatan putaran 1350 $\frac{tr}{min}$, intensitas 3,6 A, tegangan 240V dan frekuensi 50Hz. Dimensi pengering adalah panjang 3,1m lebar 2,4m dan tinggi barat 2,75m. Kemiringan atap mencapai 10°. Volume pengering tenaga surya mencapai 13m³. Tata letak pengering disajikan pada Gambar 3.

Dinding dan atap dibuat dari polietilen dengan massa sebesar 3,7 kg dan luas 5,28 m² untuk dinding timur. Untuk dinding barat massanya sebesar 4,623 kg dan luas 6,6 m². Sisi utara dan selatan memiliki massa sebesar 5,374 kg dan luas 7,673 m². Masa dan luas atap masing masing adalah 5,292 kg dan 7,555 m². Dari desain tersebut didapatkan perpindahan massa dalam dryer pada persamaan (4) (Goncalves, 2005).

$$Y_{s,t1} = \frac{Y_{s,t0} m_a + m_0 (X_{t0} - X_{t1}) + G Y_{E,t1} \Delta t}{m_a + G \Delta t} \quad (4)$$



Gambar 3. Representasi Skema dari Pengering Surya

2.1.4 Karakteristik Tumpukan Kayu

Untuk kapasitas kayu yang dikeringkan mencapai 14 lapisan dengan total 4 papan. Dua lapisan berurutan dipisahkan oleh stik pemisah dengan ukuran panjang 220 cm dan tebal 3,5 cm. Setiap papan dalam tumpukan kayu memiliki ketebalan 5cm, panjang 220 cm, dan lebar 38,5 cm sehingga porositasnya mencapai 0,412. Total volume tumpukan kayu mencapai 2,156 m³ dengan factor pengisi (ff) sebesar 0,195.

2.1.5 Modeling Pengering Tenaga Surya

Batasan permodelan ini adalah:

1. Setiap komponen didalam pengering homogen.
2. Karakteristik termofisika udara hanya dipengaruhi oleh suhu. Karakteristik termofisika benda hitam dan dinding adalah konstan.
3. Seluruh dinding memiliki radiasi matahari global yang sama.
4. Mengabaikan variasi antara dari radiasi matahari perharinya.
5. Konveksi alami diabaikan
6. Lantai pengering bersifat adiabatik
7. Transfer panas scera konduksi diabaikan pada pengering.

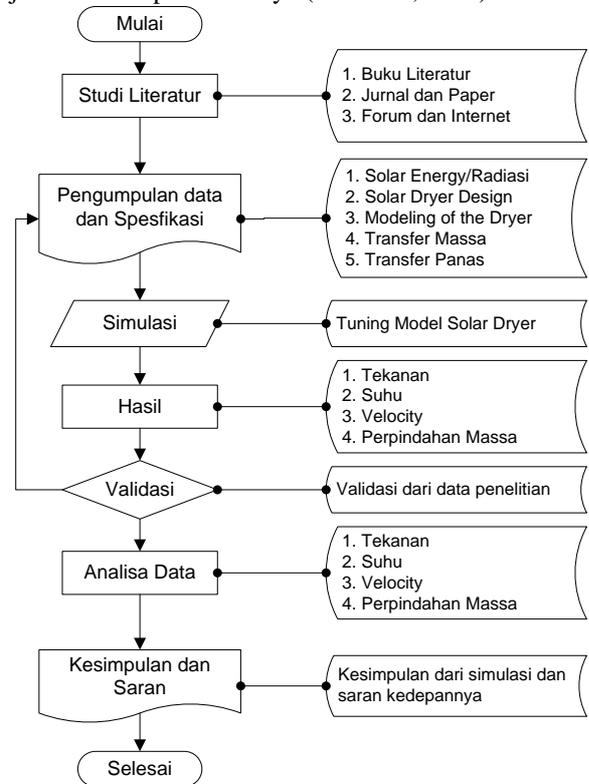
2.1.6 Proses Pengeringan Eksperimental

Setelah meletakkan tumpukan kayu di pengeringnya maka kipas akan di hidupkan. Kelembapan relatif udara didalam dikontrol setiap 2 jam. Jika kelembapan relatif udara lebih besar dari 0,7 udara akan diganti dengan udara luar. Ketika kelembapan ralatif udara didalam lebih randah 0,7 maka udara segar akan menggantikan udara didalam pengering. Hal ini dilakukan agar kelembapan relatif dapat konstan.

2.2 Simulasi

Pada tahap simulasi ini dilakukan modeling terlebih dahulu untuk pengering tenaga surya dalam gambar tiga dimensi. Modeling dilakukan menggunakan media perangkat lunak ANSYS. Perangkat lunak ini dipilih dikarenakan dapat mensimulasikan pengering secara detail (Ndeo et al., 2021). Langkah selanjutnya adalah melakukan proses *meshing* pada model pengering tersebut. Untuk proses *meshing* disarankan agar pembagian *node* yang didapat bisa diatur lebih homogen

dan sebangun. Langkah terakhir adalah menginput kondisi modeling dan persamaannya pada menu fluent. Selanjutnya dilakukan running simulasi dan plotting hasil pada plan dan contour di ANSYS. Pada Gambar 4 menjelaskan alur penelitiannya (Setiawan, 2021).

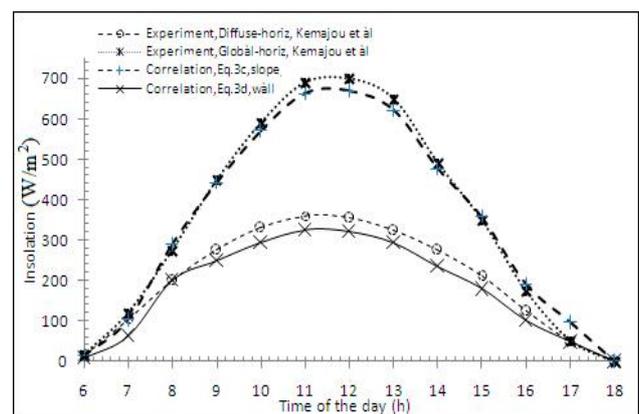


Gambar 4. Alur Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Permodelan

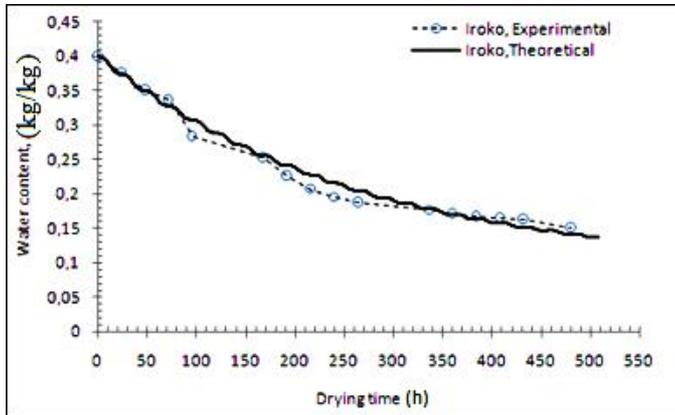
Gambar 5 menyajikan iradiasi difusi dan global pada bidang Gt* dari perhitungan persamaan (3c) dan (3d) (Kemajou et al., 2012).



Gambar 5. Iradiasi Global pada Bidang Gt*

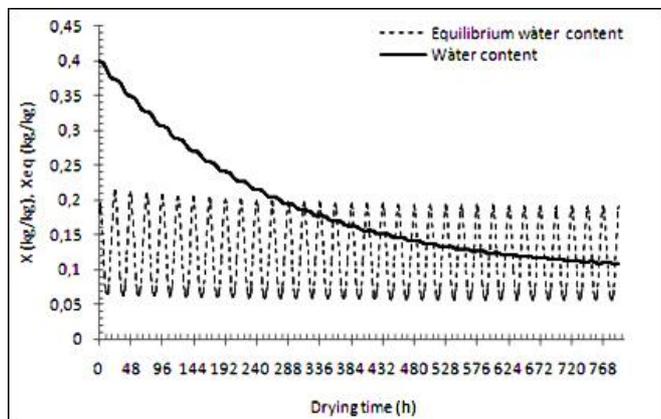
Selanjutnya dari hasil Gt* dimasukkan ke persamaan (4) untuk mengetahui waktu pengeringan awal dari jam 06.00 AM sampai 06.00 PM secara eksperimental dan teoritis. Hasilnya tidak jauh berbeda eksperimental dan teoritis. Error yang didapat hanya mencapai 4,49%. Dari

kadar air awal sebesar $0,4 \frac{kg}{kg}$ dengan ketebalan sebesar 50 mm, diperlukan waktu 20 hari untuk mengeringkan kayu iroko hingga $0,15 \frac{kg}{kg}$.



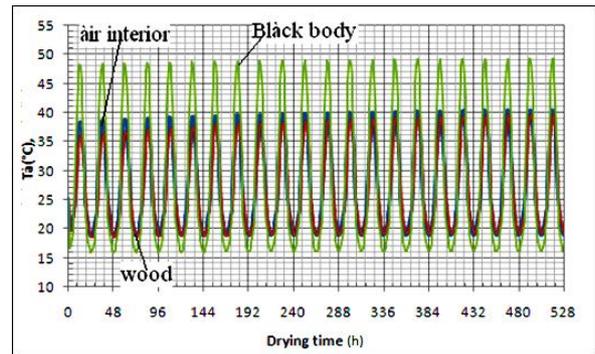
Gambar 6. Proses Pengeringan secara Eksperimental dan Simulasi

Pada Gambar 7 menunjukkan pengaruh lingkungan terhadap kadar kayu. Pada malam hari, kadar keseimbangan humidity membesar dan lemah pada jam 00.00 PM. Maka proses pengeringan kayu berjalan lambat pada malam hari sehingga dapat diabaikan. Pengeringan kayu akan berjalan lebih lambat ketika kadar air dibawah $0,15 \frac{kg}{kg}$ dan mencapai $0,11 \frac{kg}{kg}$ pada durasi pengeringan mencapai 768 jam.



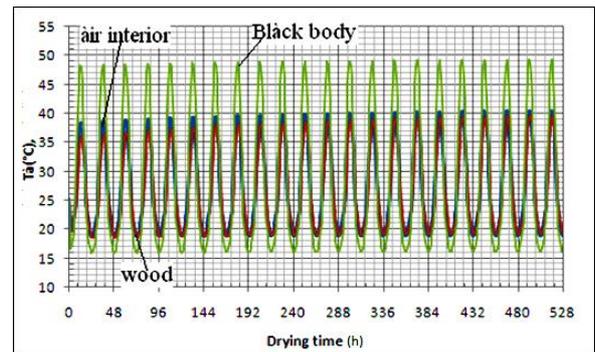
Gambar 7. Hasil Pengeringan Teoritis dan Kesimbangan Humidity

Nilai rata-rata HR dan T di Yaonde untuk mengeringkan kayu sebesar 0,727 dan 24,8°C (Nematchoua, 2014) sehingga didapatkan keseimbangan kadar air sebesar $0,144 \frac{kg}{kg}$. Dalam proses eksperimen dan kondisi iklim yang sama secara tidak langsung memberikan hasil pengeringan akan berada dalam kondisi keseimbangan humiditas setelah 18 hari operasi. Gambar 8 menunjukkan durasi pengeringan terhadap suhu relative selama 528 jam. Pada Gambar 8 tersebut menunjukkan bahwa dengan menggunakan dinding hitam dapat menyimpan panas dan memfasilitasi pengeringan dimalam hari.



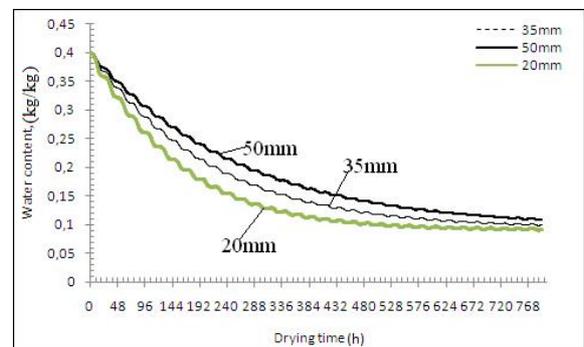
Gambar 8. Prediksi Suhu Relative, Dinding Hitam dan Interior Udara Selama Proses Pengeringan

Gambar 9 menunjukkan bahwa relative humidity bervariasi dengan waktu. Ketika suhu udara meningkat, humidity menurun. Selain itu, suhu udara didalam pengering lebih besar dari udara diluar. Perbedaannya mencapai 10°C. Jika terdapat perbedaan suhu lebih dari 10°C maka kinerja dari black body dalam menyalurkan panas menjadi kurang baik.



Gambar 9. Kelembapan Relative Teoritis, Suhu Udara Diluar Pengering dan Didalam Pengering

Akan tetapi jika perbedaannya 5-10°C kinerja dalam menyalurkan panas sangat baik dan direkomendasikan sebagai bahan untuk mendesain solar dryer (Bennamoun & Belhamri, 2003).



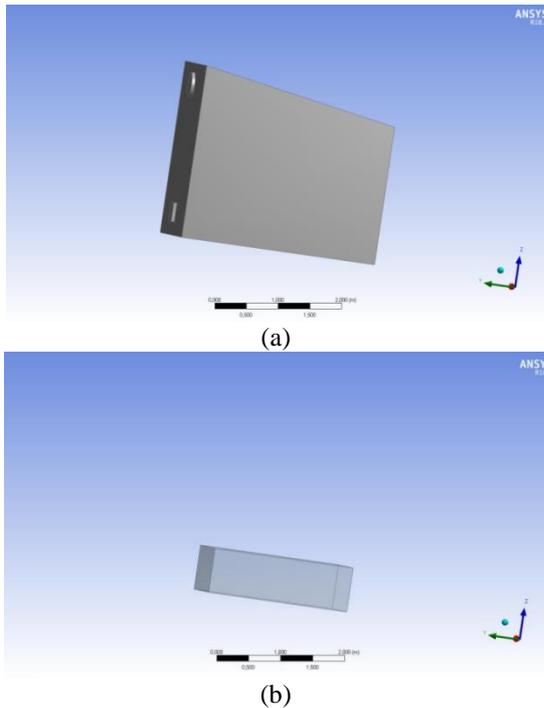
Gambar 10. Prediksi Kadar Air terhadap Durasi Pengeringan dan Tebal Papan

Gambar 10 menyajikan variasi kadar air rata-rata pada kayu yang ingin dikeringkan. Ketika jumlah kayu

berkurang maka proses pengeringan menjadi cepat. Semakin banyak kayu yang dikeringkan hasil kadar air waktu selesai pengeringan akan mendekati ke kadar air kesetimbangan.

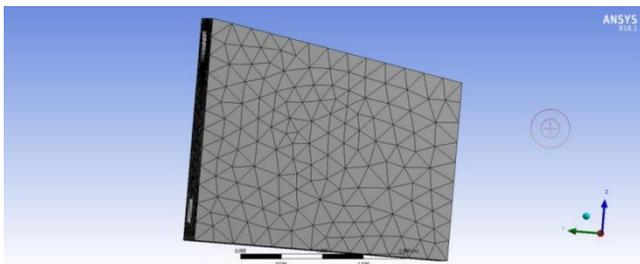
3.2 Simulasi

Geometri pengering tenaga surya dibuat menggunakan desain modeler di ANSYS. Geometrinya terdiri dari daerah pengering, fan dan tumpukan kayu (Gambar 11). Setiap *region* dimodelkan sebagai *fluid domain*. Kemudian dihubungkan bersama menggunakan *domain interface* selama simulasi.



Gambar 11. Geometri dari (a) Pengering Tenaga Surya (b) Tumpukan Kayu yang Dikeringkan

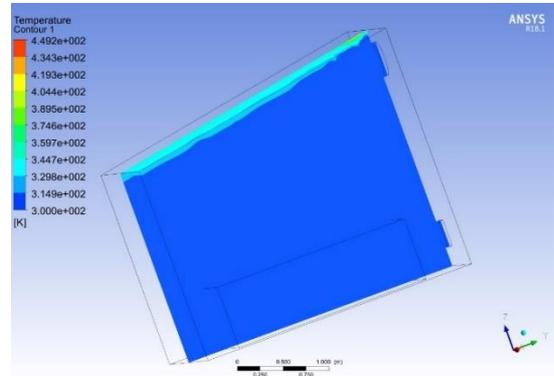
Model lengkap kemudian di ekspor ke ANSYS ICEM untuk penyelesaian *meshing*. Kepadatan mesh dijaga tetap universal dan sebangun seperti pada Gambar 12.



Gambar 12. Mesh dari Geometri Pengering Tenaga Surya

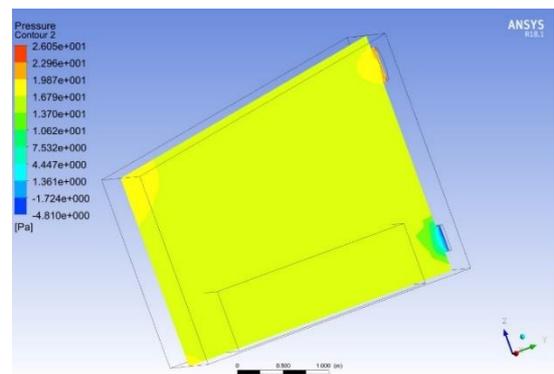
Setelah didapatkan mesh dari geometri maka dilakukan input parameter di fluid CFX ANSYS dan dilakukan simulasi. Dari simulasi CFX ANSYS didapatkan distribusi suhu, tekanan, kecepatan dan massa. Pada gambar 13 menunjukkan distribusi suhu pada bidang vertical, didapatkan distribusi di ruang pengering merata sebesar 300°K akan tetapi didaerah atas yang diterangi matahari suhunya meningkat sebesar 345°C. Suhu terbesar terdapat pada ujung atas pengering yaitu

sebesar 375°K. Diamati bahwa suhu udara keluar sudah sesuai dengan permodelan dan tidak ada penurunan suhu secara signifikan. Ini menunjukkan bahwa dimensi pengering sudah tepat. Profil suhu diatas pengering terjadi dikarenakan adanya radiasi sinar matahari sebagai sumber energi dalam pengeringan (Abderrahman et al., 2021).



Gambar 13. Distribusi Suhu dibidang Horizontal Pengering Tenaga Surya

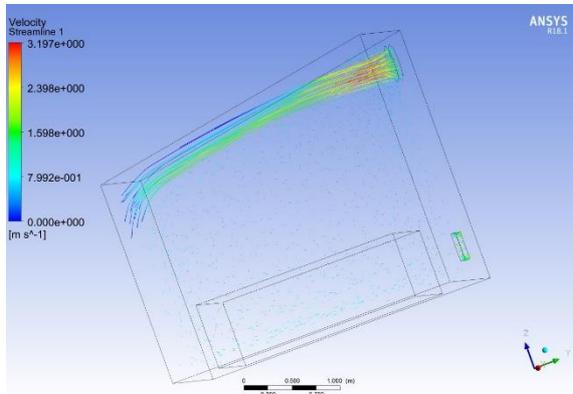
Pada Gambar 14 menunjukkan distribusi tekanan pada bidang vertical, didapatkan distribusi tekanan merata didalam pengering tenaga surya yaitu sebesar 1,98 Pa. Distribusi pressure yang merata dalam solar dryer tersebut menunjukkan tidak ada *pressure drop* yang diakibatkan kesalahan desain. Adanya *pressure drop* mengakibatkan pengeringan yang tidak sempurna dalam dryer (Tiwari, 2016). Terlihat dalam fan atas dryer meningkat karena adanya penambahan kecepatan udara yang disebabkan oleh fan yang memasukkan udara. Tetapi pada exhaust fan dibawah tekanan menurun karena adanya pembuangan udara (Amjad et al., 2015).



Gambar 14. Distribusi Tekanan dibidang Horizontal Pengering Tenaga Surya

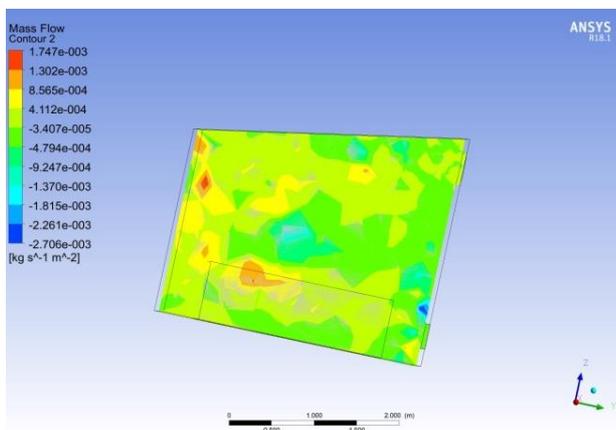
Gambar 15 menunjukkan profil kecepatan aliran udara dipengering tenaga surya. Kecepatan udara dalam pengering hampir mendekati 0 $\frac{m}{s}$ hal ini dikarenakan fungsi fan adalah untuk mendistribusikan panas dari matahari kedalam pengering. Kecepatan udara terbesar berada di inlet fan yaitu sebesar 3,197 $\frac{m}{s}$. Dalam outlet fan terjadi sedikit peningkatan kecepatan udara. Kecepatan

di outlet fan sebesar $1,598 \frac{m}{s}$. Dari distribusi kecepatan udara ini menunjukkan bahwa sirkulasi udara dalam pengereng tenaga surya telah berjalan dengan baik dan dapat mendistribusikan panas dengan baik (Jading et al., 2018)



Gambar 15. Distribusi Tekanan dibidang Horizontal Pengereng Tenaga Surya

Gambar 16 menunjukkan massflow dari udara. Dari gambar tersebut terlihat terjadi pengerengan kayu, adanya pergerakan massa air dari kayu menuju atap. Pergerakan mass flow rata-rata sebesar $0,006 \frac{kg}{s.m^2}$ berkorelasi dengan temperature didalam dryer yang uniform. Sehingga kondisi operasi yang disimulasikan adalah kondisi yang paling optimal untuk pengerengan dalam solar dryer tersebut (Benhamza et al., 2021). Setelah air menguap maka akan bergerak mengikuti aliran udara hingga exhaust fan (Jading et al., 2018).



Gambar 16. Distribusi Massflow dibidang Horizontal Pengereng Tenaga Surya

4. Kesimpulan

Dari desain pengereng tenaga surya telah terbukti berhasil dalam mengeringkan kayu. Dengan desain yang telah ada kemudian dilakukan permodelan dan simulasi, hasilnya proses pengerengan dengan tenaga surya berjalan dengan baik. Ditinjau dari waktu pengerengan, kesimbangan humiditas, distribusi suhu, tekanan, kecepatan dan massa. Desain, model dan simulasi yang diusulkan dapat digunakan untuk merancang pengereng untuk daerah tropis.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditunjukkan kepada Politeknik Industri Furnitur dan Pengolahan Kayu serta Tim Peneliti atas pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Abderrahman, M., Abdelaziz, B., & Abdelkader, O. (2021). CFD modeling of an even-span greenhouse dryer under natural and forced convection modes. *Journal of Physics: Conference Series*, 2022(1).
- Amjad, W., Munir, A., Esper, A., & Hensel, O. (2015). Spatial homogeneity of drying in a batch type food dryer with diagonal air flow design. *Journal of Food Engineering*, 144, 148–155.
- Aukah, J., & Muvengi, M. (2015). Simulation of Drying Uniformity inside Hybrid Solar Biomass Dryer using ANSYS CFX. *Proceedings of the Sustainable Research and Innovation (SRI) Conference*, 336–344.
- Ayangma, F., Nkeng, E. G., Bonoma, B. D., & Nghanou, J. (2008). Evaluation du potentiel en Énergie solaire au Cameroun: cas du nord Cameroun. *African Journal of Science and Technology*, 9(2), 32â.
- Bekkioui, N., Hakam, A., Zoulalian, A., Sesbou, A., & Kortbi, M. El. (2011). Solar drying of pine lumber: Verification of a mathematical model. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 13(1), 29–40.
- Benhamza, A., Boubekri, A., Atia, A., Hadibi, T., & Arıcı, M. (2021). Drying uniformity analysis of an indirect solar dryer based on computational fluid dynamics and image processing. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101466.
- Bennamoun, L., & Belhamri, A. (2003). Design and simulation of a solar dryer for agriculture products. *Journal of Food Engineering*, 59(2–3), 259–266.
- David, A., & Ngwa, N. R. (2013). Global solar radiation of some regions of cameroon using the linear angstrom and non-linear polynomial relations (part I) model development. *International Journal of Renewable Energy Research*, 3(4), 984–992.
- Goncalves, E. (2005). Résolution numérique, discrétisation des EDP et EDO. *Institut National Polytechnique de Grenoble*.
- Jading, A., Bintoro, N., Sutiarso, L., & Wahyu Karyadi, J. N. (2018). Temperature and Air Velocity Simulation on Sago Starch Pneumatic Conveying Recirculated Dryer Using Ansys Fluent. *Agritech*, 38(1), 88.
- Kačíková, D., Kubovský, I., Ulbríková, N., & Kačík, F. (2020). The impact of thermal treatment on structural changes of Teak and iroko wood lignins. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(14).
- Kemajou, A., Mba, L., & Pako-Mbou, G. (2012). Energy efficiency in air-conditioned buildings of the tropical humid climate. *IJRRAS*, 11(2), 235–240.
- Lealea, T., & Tchinda, R. (2013). Estimation of diffuse solar radiation in the South of Cameroon. *Journal of Energy Technologies and Policy*, 3(6), 32–42.

- Ndeo, Y. P., Koehuan, V. A., & Bunganaen, W. (2021). Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD) Rumah Pengeri Kopi Menggunakan Plastik UltraViolet (UV) Solar Dryer. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana (LJTUMU)*, 8(01), 11–20.
- Nematchoua. (2014). Study of Dioxide Carbon Concentration and Indoor Air Quality in Some Buildings in the Equatorial Region of Cameroon (Yaounde). *Iranian Journal Of Health Sciences*, 2(1), 1–15.
- Njomo, D., & Wald, L. (2007). Solar irradiation retrieval in Cameroon from Meteosat satellite imagery using the Heliosat-2 method. *ISESCO Science and Technology Vision*, 2(1), 19–24.
- Setiawan, A. B. (2021). *Analisa Kebutuhan Energi Pada Alat Pengeri Rotating Parts Of Tray Dengan Menggunakan Software Ansys Fluent 2019*. Universitas Gadjah Mada.
- Simo-Tagne, M., Zoulalian, A., Remond, R., Rogaume, Y., & Bonoma, B. (2017). Modeling and simulation of an industrial indirect solar dryer for iroko wood (*Chlorophora excelsa*) in a tropical environment. *Maderas: Ciencia y Tecnologia*, 19(1), 95–112.
- Tiwari, A. (2016). A review on solar drying of agricultural produce. *Journal of Food Processing & Technology*, 7(9), 1–12.
- Weiss, W., & Buchinger, J. (2012). Solar drying. *AEE INTEC Publication, A-8200 Gleisdorf, Feldgasse, 19*.

Daftar Notasi:

- C_{pa} = Konstanta panas dari udara ($\frac{J}{Kg.K}$)
- C_{pto} = Konstanta panas dari benda hitam ($\frac{J}{Kg.K}$)
- C_{pb} = Konstanta panas dari kayu ($\frac{J}{Kg.K}$)
- C_{pp} = Konstanta panas dari atap (Polyethilen) ($\frac{J}{Kg.K}$)
- C_{ppl} = Konstanta panas dari dinding (Polyethilen) ($\frac{J}{Kg.K}$)
- D = Difusi radiasi matahari pada bidang horizontal ($\frac{w}{m^2}$)
- $\frac{d}{dt}$ = Fungsi deferensial dari laju pengeringan s^{-1}
- e = Ketebalan papan (mm)
- E_b = Panas desorpsi ($\frac{J}{Kg}$)
- E_r = Rata-rata eror relatif (%)
- e_t = Ketebalan kayu (m)
- F_{bb-b} = Faktor geometric benda hitam kayu
- FF = Volume tumpukan kayu dibagi dengan volume ruang pengering
- $F_{pl-ciel}$ = Faktor geometric antara dinding dan langit
- F_{pl-to} = Faktor geometric antara dinding dan benda hitam
- F_{p-ciel} = Faktor geometric antara kemiringan atap dan langit
- F_{to-b} = Faktor geometric antara benda hitam dan kayu
- G = Aliran massa udara kering ($\frac{kg}{s}$)
- G_t = Radiasi panas global pada bidang horizontal ($\frac{w}{m^2}$)
- $G_t^*(10^\circ)$ = Radiasi panas global pada bidang horizontal ($\frac{w}{m^2}$)
- $G_t^*(wall)$ = Radiasi panas global pada dinding ($\frac{w}{m^2}$)
- h_b = Transfer panas konveksi antara kayu dan udara ($\frac{w}{m^2.K}$)
- h_{cb} = Koefisien panas konveksi antara kayu dan udara ($\frac{w}{m^2.K}$)
- h_{cext} = Koefisien panas konveksi antara udara dan dinding ($\frac{w}{m^2.K}$)
- h_{ci} = Koefisien panas konveksi antara atap dan udara ($\frac{w}{m^2.K}$)
- h_{cil} = Koefisien panas konveksi antara dinding dan udara ($\frac{w}{m^2.K}$)
- h_{cto} = Koefisien panas konveksi antara benda hitam dan udara ($\frac{w}{m^2.K}$)
- HR = Relative humidity
- h_{vest} = Koefisien panas konveksi antara udara luar dan atap yang miring ($\frac{w}{m^2.K}$)
- h_{vint} = Koefisien panas konveksi antara udara dalam pengering dan atap yang miring ($\frac{w}{m^2.K}$)
- K = Koefisien perpindahan massa ($\frac{kg}{m^2.s}$)
- l = lebar masing-masing papan (m)
- L = Panas latent evaporasi ($\frac{J}{kg}$)
- L_p = Panjang setiap papan (m)
- Pr = Prandtl number
- P_{vsat} = Tekanan uap pada kondisi jenuh (Pa)
- R = Konstanta Gas Ideal ($8,314 \frac{J}{mol.K}$)
- r = Regresi
- S_b = Luas permukaan kayu (m^2)
- S_{bb} = Luas permukaan benda hitam (m^2)
- S_p = Luas permukaan atap (m^2)
- S_{pl} = Luas permukaan dinding (m^2)
- t = Waktu pengeringan (s)
- T_a = Suhu udara interior (K)
- T_{aext} = Suhu udara eksterior dari pengering (K)
- T_{amax} = Suhu udara maksimum (K)
- T_{amin} = Suhu udara minimum (K)
- T_b = Temperatur kayu (K)
- T_{cicl} = Temperatur lingkungan (K)
- T_{pl} = Temperatur dinding (K)
- T_{to} = Temperatur benda hitam (K)
- V_{ext} = Kecepatan udara sekitar ($\frac{m}{s}$)
- V_{int} = Kecepatan udara dalam pengering ($\frac{m}{s}$)
- V_{dryer} = Volume dari pengering (m^3)
- V_p = Volume dari kayu yang dikeringkan (m^3)
- X = Kadar air tumpukan kayu dalam dry basis ($\frac{kg}{kg}$)
- X_{eq} = Kesetimbangan kadar air dalam dry basis ($\frac{kg}{kg}$)
- X_{fsp} = Kadar air fraksional dalam dry basis pada titik jenuh ($\frac{kg}{kg}$)
- X_m = Kadar air fraksional dalam dry basis pada titik jenuh monolayer ($\frac{kg}{kg}$)
- X_{expi} = Kadar air eksperimental pada tumpukan kayu dalam dry basis ($\frac{kg}{kg}$)

X_{thi}	= Kadar air teoritis pada tumpukan kayu dalam dry basis ($\frac{kg}{kg}$)
Y_E	= Humiditas udara saat masuk ke dryer ($\frac{kg}{kg}$)
Y_S	= Humiditas udara dalam dryer ($\frac{kg}{kg}$)
z	= Ketinggian pengering (m)
a_p	= Daya serap atap
a_{pl}	= Daya serap dinding
a_{to}	= Daya serap benda hitam
τ_p	= Transmisivitas atap dan dinding
λ_{air}	= Konduktivitas panas udara ($\frac{W}{m.K}$)
μ_{air}	= Viskositas udara (Pa.s)
ε	= Porositas tumpukan kayu
ρ_a	= Densitas udara ($\frac{Kg}{m^3}$)
ρ_o	= Densitas kayu yang kering ($\frac{Kg}{m^3}$)
σ	= Stefan-Boltzmann constant value ($5,67 \times 10^{-3} \frac{w}{m^2 K^4}$)
Δt	= Time step (s)
	= Simbol nilai absolut