

KINETIKA PENGERINGAN CABE JAMU MENGGUNAKAN PENGERING EFEK RUMAH KACA BERBANTU PENYIMPAN PANAS

Drying kinetics of cabe jamu under solar greenhouse dryer assisted by heat storage

Mohammad Fuad Fauzul Mu'tamar, Raden Arief Firmansyah*, dan Dhefanie Firmansyah

Teknologi Industri Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura, Bangkalan, Indonesia

*email korespondensi: arief.firmansyah@trunojoyo.ac.id

ABSTRACT

Solar greenhouse drying could become an alternative drying technique that is affordable, applicable, and safe. However, it is solar-dependent. Thus, it requires a system that supplies heat during the absence of solar energy; using This research aims to determine the drying kinetics of cabe jamu using a solar greenhouse dryer assisted by heat storage. The object of this research was cabe jamu, which is categorized as a predominant Madura agriculture product. The drying was held for 3 days, and the observation parameters were length, diameter, and mass during drying. Material that is used as heat storage was black shinning Lumajang sand. During the the drying process, ambient temperature, solar greenhouse temperature, and sand temperature were read every 1 h. The result showed that Midilli and Kucuk model have a good-fitting performance to portray the drying kinetics of cabe jamu assisted by and without heat storage. The result also confirms that application of heat storage to solar greenhouse dryer did not shorten drying time; otherwise, increase the percentages of product volume shrinkage.

Keywords: Cabe jamu, drying, heat storage, kinetics, solar greenhouse.

PENDAHULUAN

Metode pengeringan yang paling murah, paling mudah dan ramah lingkungan adalah pengeringan berbantu matahari (*open sun drying*) (Ida et al., 2020). Namun kelemahan dari metode pengeringan tersebut adalah mudah terkontaminasi (Azaizia et al., 2020), fluktuasi suhu pengeringan dan kualitas produk yang dihasilkan heterogen. Salah satu metode pengeringan yang meminimalisir kelemahan tersebut namun tetap minimal dalam segi biaya adalah pengeringan dengan metode pengeringan efek rumah kaca (ERK).

Pengeringan dengan metode tersebut memanfaatkan panas matahari kemudian panas tersebut dijerat dalam ruangan yang memungkinkan panas dari dalam ruangan tidak keluar sistem sehingga dapat meningkatkan suhu di dalam ruangan tersebut (Irfan et al., 2020).

Metode pengeringan ini telah banyak dimanfaatkan antara lain: digunakan untuk pengeringan daun kelor yang dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa untuk mendapatkan efisiensi pengeringan yang tinggi dari penggunaan pengering ERK, faktor kecepatan aliran udara perlu diperhatikan (Koehuana et al., 2022). Penelitian (Zamharir et al., 2016) mendapatkan bahwa penggunaan pengering ERK mampu memanfaatkan 981.4 W energi matahari yang mampu menghasilkan efisiensi pengeringan hingga 39.9%.

Ketergantungan metode pengeringan yang bersumber dari panas matahari menyebabkan durasi pengeringan menjadi lebih lama jika dibandingkan dengan pengeringan lainnya karena ada periode dimana panas matahari terhalang, baik oleh awan atau karena gerak harian matahari sehingga panas yang didapat oleh pengering ERK menjadi tidak optimal. Melalui penggunaan penyimpanan panas diharapkan

periode dimana panas matahari terhalang dapat digantikan oleh penyimpanan panas untuk terus mensuplai panas sehingga proses pengeringan dapat berlangsung selama panas matahari tidak tersedia (Azaizia et al., 2020).

Salah satu media yang dapat digunakan untuk menyimpan energi panas adalah pasir. Pasir memiliki kapasitas panas sebesar 1.3 kJ/kg.K yang berpotensi menjadi media penyimpanan panas (Astawa & Suarnadwipa, 2016). Penelitian Astawa & Suarnadwipa, (2016) menguji beberapa jenis pasir sebagai media penyimpanan panas untuk kolektor surya mendapatkan bahwa jenis pasir pantai warna hitam mengkilap memiliki efisiensi aktual tertinggi dibandingkan jenis pasir pantai warna putih dan hitam. Sedangkan (Winarno et al., 2023) menguji penggunaan penyimpanan panas dari pasir terhadap pengeringan kedelai mendapatkan bahwa pasir mampu menaikkan suhu udara pengering hingga 9.2°C sehingga mampu meningkatkan laju pengeringan hingga 24.91%.

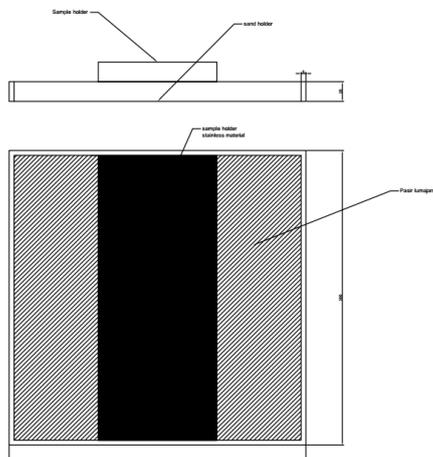
Oleh karena itu, perlu dikaji pemanfaatan penyimpanan panas menggunakan media pasir untuk pengeringan produk pertanian sehingga dapat mempersingkat lama pengeringan. Pada penelitian ini cabe jamu

digunakan sebagai objek pengeringan yang merupakan produk herbal bernilai tinggi yang banyak diperdagangkan dalam bentuk kering dan proses pengeringan yang digunakan saat ini masih metode *open sun drying*. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kinetika pengeringan cabe jamu dan karakteristik fisiknya yang dikeringkan dengan bantuan penyimpanan panas berupa pasir dan tanpa penyimpanan panas.

METODOLOGI PENELITIAN

Alat

Peralatan untuk observasi pengeringan cabe jamu meliputi, jangka sorong digital $\pm 0.01\text{mm}$ (Mitutuyo, Indonesia), termometer bola basah bola kering (herma, Indonesia), termometer inframerah $\pm 0.1^\circ\text{C}$ (sanfix, Taiwan), timbangan digital miniscale $\pm 0.01\text{g}$ (TL-series, China), dan aparatus sebagai wadah pengeringan sampel dan peletakan media penyimpanan panas. Aparatus tersebut diletakkan di dalam Green House (GH) untuk dimanfaatkan efek rumah kacanya. Ilustrasi dari aparatus dan GH yang digunakan disajikan pada Gambar 1.



(a) Skema posisi produk dan media penyimpanan panas



(b) GH untuk pengeringan produk

Gambar 1. Aparatus pengeringan berbantu media penyimpanan panas

Bahan

Cabe jamu yang digunakan didapatkan dari daerah Bluto, Sumenep yang didapatkan di hari yang sama saat pemetikan (panen).

Sebelumnya sampel dikeringanginkan selama ± 1 jam dan selanjutnya disimpan dalam plastik zipper yang dilengkapi dengan silica gel. Sedangkan media penyimpanan panas yang

digunakan berupa pasir hitam Lumajang dengan karakteristik berwarna hitam pekat untuk setiap aparatus dalam 1 perlakuan digunakan ketebalan pasir sebesar 2 cm yang didasarkan bahwa optimal penyimpanan panas untuk pasir berkisar antara 1 – 5 cm (Srinivasan et al., 2021).

Prosedur Penelitian

Penelitian menggunakan dua perlakuan berbeda, yaitu sampel yang dikeringkan dengan menggunakan bantuan media penyimpan panas dan tanpa media penyimpan panas. Pengeringan menggunakan metode pengeringan efek rumah kaca dan dilakukan secara simultan untuk dua perlakuan tersebut.

Pengamatan pengeringan dilaksanakan selama tiga hari sejak pukul 09.00 s.d 16.00 WIB, diluar waktu tersebut tidak dilakukan pengamatan dan pengukuran parameter.

Pengumpulan data

Selama proses pengeringan, dilakukan pengumpulan data meliputi pengukuran suhu: suhu pasir, suhu di luar GH, dan suhu di dalam GH; pengukuran dimensi cabe jamu: dimensi panjang dan diameter; dan pengukuran massa cabe jamu. Seluruh parameter tersebut diukur setiap 1 jam sekali selama periode pengamatan sejak hari pertama hingga hari ketiga.

Setiap perlakuan disediakan $\pm 5g$ cabe jamu untuk tiga kali ulangan. Setiap pengukuran parameter dilakukan tiga kali pengukuran untuk parameter massa, diameter dan panjang dan tiga kali pembacaan untuk pengamatan suhu.

Pengukuran kadar air dilakukan dua kali yaitu pada sampel basah dan pada sampel yang telah dikeringkan selama tiga hari menggunakan metode gravimetri dan dinyatakan dalam basis basah.

Analisis data

Analisis data meliputi penentuan % penyusutan dimensi (diameter dan panjang) dan volume cabe jamu, penentuan Moisture Ratio untuk menentukan kinetika pengeringan cabe jamu dan penentuan model pengeringan lapis tipis yang mampu menggambarkan kurva pengeringan cabe jamu berbantu media penyimpan panas.

Formula untuk menentukan % penyusutan diameter, panjang, volume dan laju

penyusutan volume secara berurutan dinyatakan dalam persamaan (1), (2), (3) dan (4)

$$SR_d = \frac{d_0 - d_t}{d_0} \quad (1)$$

$$SR_p = \frac{p_0 - p_t}{p_0} \quad (2)$$

$$SR_v = 1 - \frac{d_t^2 p_t}{d_0^2 p_0} \quad (3)$$

$$SR_{rate} = \frac{SR_{vt2} - SR_{vt1}}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

dimana, SR_d, SR_p, SR_v adalah %laju penyusutan untuk diameter, panjang dan volume cabe jamu secara berurutan; d_0, d_t adalah diameter awal dan diameter saat waktu t yang dinyatakan dalam mm; dan p_0, p_t adalah panjang awal dan panjang saat waktu t . sedangkan SR_{rate} merupakan laju penyusutan antara $\Delta\%$ penyusutan volume dan Δ waktu pengeringan.

Untuk menentukan moisture ratio (MR), pengukuran bobot setiap waktu dikonversi menjadi nilai kadar air setiap waktu dengan menggunakan persamaan (5). Nilai kadar air tersebut kemudian digunakan untuk menentukan MR menggunakan persamaan (6).

$$M_t = \frac{W_t - W_{padatan}}{W_t} \times 100\% \quad (5)$$

$$MR = \frac{M_t}{M_0} \quad (6)$$

dimana, M_0, M_t merupakan nilai kadar air awal dan kadar air pada waktu t yang dinyatakan dalam g/g w.b. (basis basah). Sedangkan $W_t, W_{padatan}$ merupakan nilai massa produk saat waktu t dan massa produk saat akhir pengeringan.

Model matematis

Untuk mempelajari fenomena pengeringan dengan bantuan media penyimpanan panas maka disusun permodelan kinetika pengeringan menggunakan model pengeringan lapis tipis semi teoritis yang disajikan pada Tabel 1. Penyusunan model kinetika pengeringan ini menggunakan *solver Excel 2019* dengan parameter evaluasi untuk mendapatkan model kinetika pengeringan

yang terbaik berdasarkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan *root mean squared error* (RMSE). Kedua parameter evaluasi tersebut dihitung menggunakan persamaan (7) dan (8).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{\sum_{i=1}^N (\overline{MR_{pre}} - MR_{exp,i})^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N}} \quad (8)$$

dimana, $MR_{pred,i}, MR_{exp,i}$ merupakan nilai MR hasil dari model kinetika pengeringan dan MR dari hasil observasi. Sedangkan $\overline{MR_{pre}}$ merupakan nilai rata-rata MR hasil dari model kinetika pengeringan. Untuk N merupakan jumlah data perhitungan MR.

Tabel 1. Model pengeringan lapis tipis yang digunakan

Model	Persamaan	Referensi
Lewis	$MR = e^{-kt}$	
Page	$MR = e^{-kt^n}$	
Henderson – Pabis	$MR = ae^{-kt}$	
Logaritmik	$MR = ae^{-kt} + b$	
Midilli and Kucuk	$MR = ae^{-kt^n} + bt$	(Huang et al., 2021)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi pengeringan

Hasil pengamatan suhu terhadap tiga titik pengamatan, yaitu suhu pasir, suhu di dalam GH dan suhu di luar GH selama tiga hari lama pengeringan ditunjukkan oleh Gambar 2. Selama waktu pengeringan suhu udara di luar GH stabil $\pm 31^\circ\text{C}$. Hal berbeda terjadi pada titik pengamatan suhu di dalam GH dan media penyimpan panas (pasir) yang bersuhu lebih tinggi dibandingkan suhu di luar GH. Pada hari ke-1 pengeringan, selisih suhu di dalam GH dan di luar GH adalah yang tertinggi mencapai $\pm 20^\circ\text{C}$ kemudian perbedaan suhu stabil pada hari ke-2 dan ke-3 dikisaran $\pm 10^\circ\text{C}$. Peningkatan suhu di dalam GH terjadi akibat udara panas terperangkap di dalam GH sehingga meningkatkan suhu di dalam GH. Efek tersebut dimanfaatkan untuk memberikan lebih banyak energi panas yang diterima oleh produk sehingga proses penguapan udara menjadi lebih cepat (Yao et al., 2022). Fenomena ini menunjukkan bahwa pengeringan dengan memanfaatkan efek rumah kaca meningkatkan suhu udara di dalam ruang pengering dibandingkan di luar ruang pengering sehingga baik untuk pengeringan produk (Nabnean & Nimnuan, 2020).

Pengamatan terhadap suhu media pasir di awal waktu pengeringan menunjukkan

peningkatan kemudian pada hari ke-2 dan ke-3 berfluktuasi dimana saat periode pagi hari (09.00 s.d 10.00 WIB) dan sore hari (15.00 s.d 16.00 WIB), suhu pasir menunjukkan nilai terendah di hari tersebut dan pada periode tengah hari (12.00 s.d 13.00 WIB) mencapai suhu tertingginya antara 52°C dan 55°C .

Pengamatan terhadap suhu pasir menunjukkan peningkatan suhu sejak pengeringan hari ke-1, yang awalnya suhu pasir $\pm 39^\circ\text{C}$ meningkat dan stabil pada suhu yang lebih tinggi dibandingkan suhu di dalam GH. Fenomena tersebut terlihat pada pengeringan hari ke-2 dan hari ke-3, yaitu suhu pasir lebih tinggi dibandingkan suhu udara di dalam GH. Penelitian dari Ayyappan et al., (2016) menunjukkan bahwa adanya pasir mampu menaikkan suhu hingga 12°C pada siang hari dan 3.5°C pada malam hari. Fenomena ini menunjukkan bahwa penggunaan pasir dapat menjadi media penyimpan panas yang membantu mempercepat proses evaporasi pada produk.

Pengaruh penyimpanan panas terhadap penyusutan cabe jamu

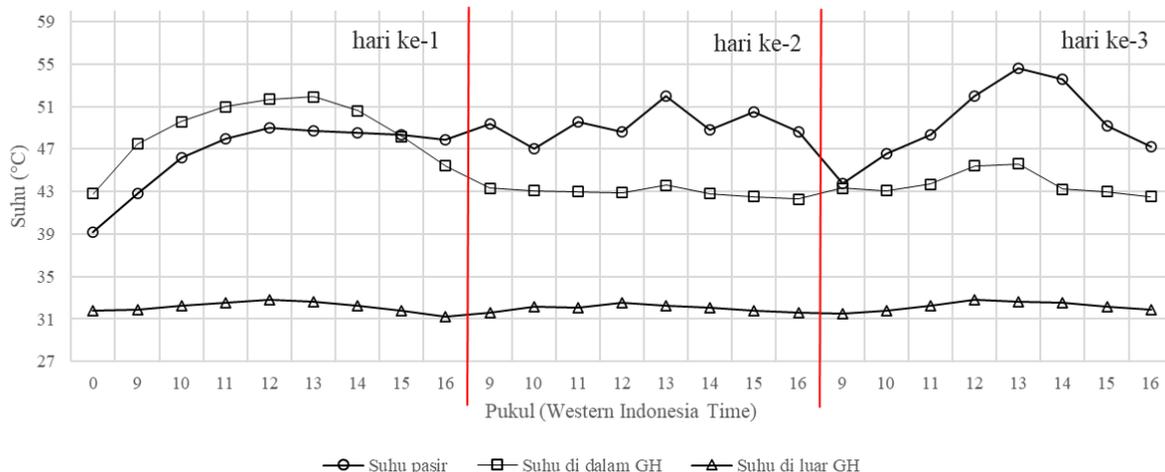
Data % penyusutan dimensi (diameter dan panjang) dan volume cabe jamu diilustrasikan pada Gambar 3. Akibat dari pengeringan terjadi penyusutan pada produk, dimana penyusutan pada diameter lebih besar

dibandingkan penyusutan pada bagian panjang. Penyusutan yang terjadi pada bagian diameter mencapai 24% dari diameter awal sedangkan penyusutan pada bagian panjang kurang dari 10% dari panjang awal. Namun dari parameter volume, penyusutan akibat pengeringan mencapai 45% dari volume awal.

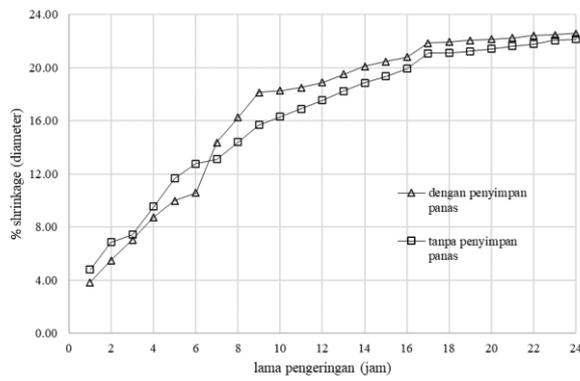
Nilai % penyusutan ini tidak berbeda jauh antara cabe jamu yang dikeringkan dengan bantuan penyimpanan panas dan tanpa penyimpanan panas. Pada % penyusutan diameter selisih antara perlakuan dengan penyimpanan panas dan tanpa penyimpanan panas sebesar 0.42 kemudian untuk parameter panjang, selisih % penyusutan yaitu 0.94. Sedangkan untuk parameter volume, selisih % penyusutan sebesar 1.16. Walaupun, tidak berbeda, perlakuan pengeringan dengan penyimpanan panas memberikan nilai penyusutan yang lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa penyimpanan panas untuk semua parameter pengamatan (Gambar 3a, Gambar 3b, Gambar 3c). Fenomena ini menunjukkan bahwa adanya penambahan penyimpanan panas memberikan tambahan energi panas sehingga kandungan air yang berevaporasi menjadi lebih banyak. Namun, besarnya nilai penyusutan dapat memberikan dampak negatif bagi produk yang dikeringkan

karena berakibat pada tampilan produk yang kurang menarik (Mayor & Sereno, 2004) dan juga berpengaruh terhadap kinetika pengeringan dan laju pengeringan (Jiang et al., 2023) sehingga batas wajar nilai penyusutan perlu dikaji lebih jauh.

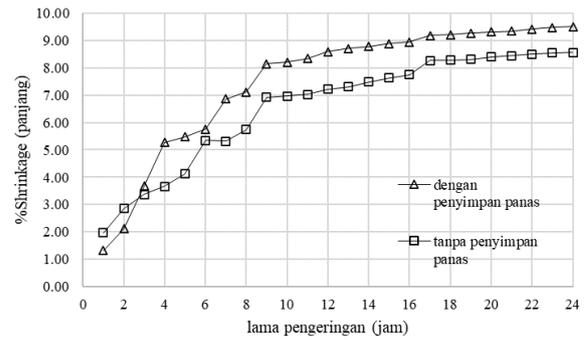
Gambar 3d menunjukkan laju penyusutan volume selama periode pengeringan untuk seluruh perlakuan. Fluktuasi laju penyusutan volume terjadi pada hari ke-1 pengeringan untuk semua perlakuan yang disebabkan oleh kondisi pengeringan yang belum stabil. Pada pengeringan hari ke-1, suhu udara pengeringan belum stabil yang ditunjukkan dengan suhu di dalam GH memiliki tren kuadratik sehingga laju penyusutan pada perlakuan tanpa penyimpanan panas berfluktuasi. Hasil yang serupa juga ditunjukkan pada perlakuan dengan penyimpanan panas yang berfluktuasi nilai penyusutannya akibat dari suhu pasir belum stabil dan cenderung meningkat dengan perlahan serta diakibatkan juga oleh suhu di dalam GH yang juga belum stabil.



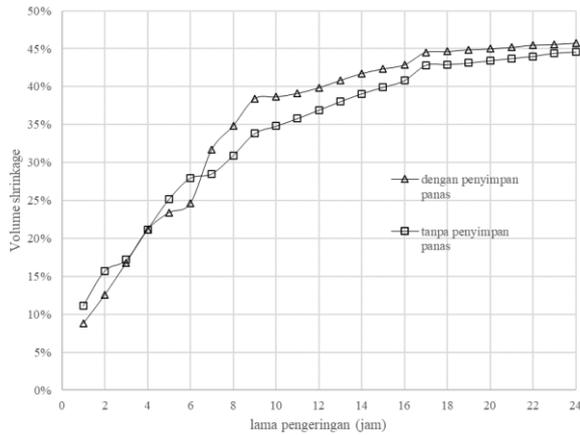
Gambar 2. Pengamatan suhu selama tiga hari pengeringan di tiga titik amatan



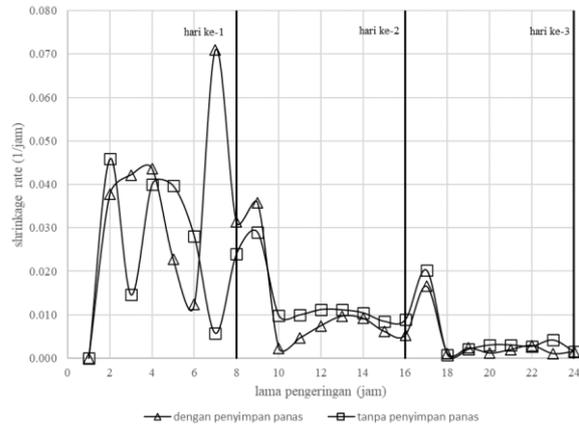
(a) % penyusutan diameter selama pengeringan



(b) % penyusutan panjang selama pengeringan



(c) % penyusutan volum selama pengeringan



(d) laju penyusutan volume selama pengeringan

Gambar 3. Pengaruh penyimpanan panas terhadap penyusutan dan laju penyusutan produk

Periode pengeringan selanjutnya, laju penyusutan mengalami tren yang stabil untuk perlakuan tanpa penyimpanan panas dimana kondisi tersebut dipengaruhi oleh tren suhu udara di dalam GH yang stabil. Faktor lain yang juga berpengaruh adalah proses evaporasi yang terjadi di dalam produk melibatkan kandungan air terikat sehingga penyusutan akibat kehilangan air yang menjadi minimal dibandingkan pada periode awal pengeringan yang melibatkan evaporasi pada kandungan air bebas (Mursalin et al., 2021). Walaupun terjadi penyusutan, tekstur dari cabai jamu setelah pengeringan menjadi lebih kaku dan padat. Hal tersebut terjadi akibat glassy state di dalam produk sehingga meningkatkan kekakuan produk dan mobilitas padatan dalam matriks juga turun (Ida et al., 2020).

Walaupun tren laju penyusutan untuk perlakuan dengan penyimpanan panas menunjukkan tren stabil, hal tersebut tidak dapat dikorelasikan dengan suhu udara di

dalam GH yang stabil sebab suhu pasir menunjukkan tren meningkat. Oleh karena itu, faktor evaporasi yang melibatkan kandungan air terikat lebih berpengaruh pada perlakuan dengan penyimpanan panas.

Pada Gambar 3d, terdapat tren laju penyusutan yang melonjak tinggi dan diikuti dengan penurunan yang tinggi pada periode awal pengeringan di hari ke-2 dan hari ke-3 untuk semua perlakuan. Fenomena ini terjadi akibat proses intermiten pengeringan dimana ada periode produk tidak mendapat energi panas secara masif (malam hari) sehingga terjadi difusi panas yang mengakibatkan kandungan air terikat lepas menjadi kandungan air bebas (Duque-Dussán et al., 2023). Kemudian, ketika periode paparan energi panas diberikan terjadi evaporasi yang menyebabkan laju penyusutan volume meningkat.

Kinetika pengeringan

Kinetika pengeringan cabai jamu dengan bantuan penyimpanan panas dan tanpa

penyimpan panas disajikan pada Gambar 4 dalam bentuk kurva hubungan MR dan waktu. Selama periode pengeringan didapatkan nilai MR akhir produk untuk perlakuan dengan penyimpan panas, yaitu 0.254 sedangkan tanpa penyimpan panas sebesar 0.238.

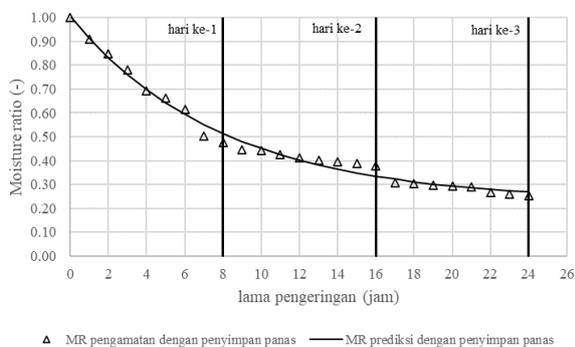
Untuk menggambarkan fenomena kinetika pengeringan digunakan pemodelan terhadap data pengamatan, dimana model yang paling sesuai untuk menggambarkan fenomena kinetika pengeringan untuk perlakuan berbantu penyimpan panas dan tanpa penyimpan panas adalah model Midilli and Kucuk dengan nilai $R^2 > 0.998$ dan $RMSE < 0.05$. Perbandingan antara data pengamatan dan model Midilli and Kucuk dinyatakan pada Gambar 4a dan Gambar 4b. Nilai parameter dari model Midilli and Kucuk dan hasil

permodelan dengan model lain disajikan pada Tabel 2.

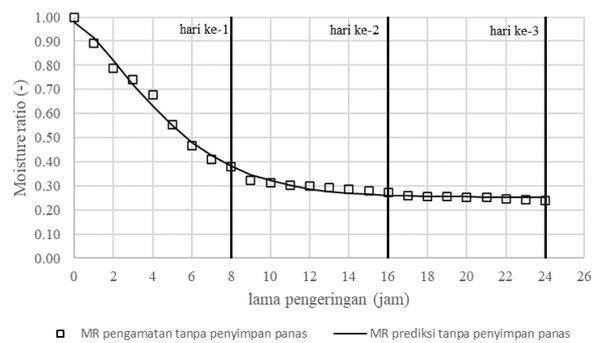
Berdasarkan hasil perbandingan antara kinetika pengeringan dengan bantuan penyimpan panas dan tanpa penyimpan panas pada Gambar 4c didapatkan bahwa kurva kinetika pengeringan dengan bantuan penyimpan panas lebih landai dibandingkan dengan tanpa penyimpan panas. Perbandingan tersebut dapat diamati pada lama pengeringan 8 jam dimana MR dengan bantuan penyimpan panas mencapai 0.5 sedangkan tanpa penyimpan panas telah mencapai di bawah 0.4. Namun, perbedaan tersebut tidak menyebabkan perbedaan signifikan terhadap nilai MR di akhir pengeringan yang hanya berbeda 0.016.

Tabel 2. Model kinetika pengeringan cabe jamu untuk semua perlakuan

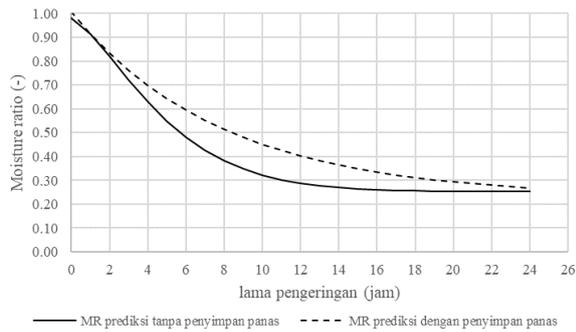
	k	n	a	b	R^2	RMSE
Berbantu penyimpan panas						
Lewis	0.070778				0.991116	0.051126
Page	0.131278	0.756936			0.996941	0.028904
Henderson-pabis	0.063792		0.927467		0.993116	0.043544
Logaritmic	0.126678		0.774353	0.23234	0.998223	0.022177
Midilli and Kucuk	0.129258	0.98723	0.779799	0.22881	0.998225	0.022166
Tanpa penyimpan panas						
Lewis	0.092913				0.974192	0.077647
Page	0.194318	0.691184			0.987614	0.05107
Henderson-pabis	0.08142		0.903248		0.976654	0.070594
Logaritmic	0.189964		0.812718	0.224675	0.996853	0.026177
Midilli and Kucuk	0.094415	1.398779	0.727233	0.253017	0.99863	0.017289



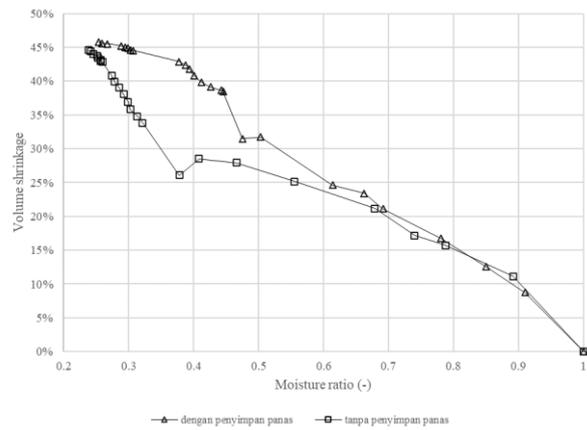
(a) Kurva MR dengan perlakuan penyimpan panas



(b) Kurva MR dengan perlakuan tanpa penyimpan panas



(c) Kurva MR model Midilli and Kucuk



(d) Korelasi MR dan Volume shrinkage

Gambar 4. Kurva MR untuk pengeringan cabe jamu dengan dan tanpa penyimpanan panas

Pada kedua perlakuan, di hari ke-1 pengeringan mengalami proses *falling-rate period* dimana terjadi penurunan setengah nilai MR untuk perlakuan berbantu penyimpanan panas sedangkan untuk perlakuan tanpa penyimpanan panas terjadi penurunan nilai MR hingga dibawah 0.4. Pada hari ke-2 dan ke-3, terjadi proses *constant-rate period* dimana penurunan nilai MR sangat kecil yang ditunjukkan oleh kurva yang melandai hingga akhir lama pengeringan. Berdasarkan fenomena tersebut pemberian perlakuan penyimpanan panas menggunakan pasir pada produk tidak mempercepat lama pengeringan.

Hasil ini berbeda dengan yang didapatkan oleh Azaizia et al., (2020) yang mendapatkan bahwa penggunaan penyimpanan panas dengan media lilin parafin mampu mempersingkat lama pengeringan menjadi dua hari dibandingkan tanpa bantuan penyimpanan panas yang mencapai 4 hari untuk pengeringan paprika.

Gambar 4d menunjukkan kurva MR dan % penyusutan dimana perlakuan dengan bantuan penyimpanan panas memberikan % penyusutan yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanpa penyimpanan panas. Hal tersebut dapat diamati pada kondisi nilai MR > 0.5 dimana perlakuan berbantu penyimpanan panas telah kehilangan lebih dari 30% sedangkan tanpa penyimpanan panas baru kehilangan 27% volume. Namun demikian, perlakuan berbantu penyimpanan panas menunjukkan kehilangan volume yang stabil dibandingkan tanpa penyimpanan panas.

Hasil ini juga menunjukkan korelasi negatif antara nilai MR dan % penyusutan volume, dimana semakin tinggi nilai MR yang berarti kadar air tinggi, nilai % penyusutan volumenya rendah. Hasil ini juga menunjukkan bahwa penyusutan volume dipengaruhi oleh kehilangan air pada produk selama proses pemanasan (Jiang et al., 2023).

KESIMPULAN

Model kinetika pengeringan Midilli and Kucuk merupakan model yang paling sesuai menggambarkan pengeringan cabe jamu dengan perlakuan berbantu penyimpanan panas dan tanpa penyimpanan panas. Pemberian perlakuan penyimpanan panas tidak mempersingkat lama pengeringan sebaliknya pemberian penyimpanan panas meningkatkan nilai penyusutan produk. Penggunaan pasir dapat digunakan sebagai media penyimpanan panas yang bermanfaat dalam menciptakan efek difusi panas selama periode tanpa sumber matahari.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih dan apresiasi ditujukan kepada lembaga penelitian dan pengabdian Universitas Trunojoyo Madura atas dukungan finansial dalam program penelitian kolaborasi nasional dengan no kontrak 5859/UN46.4.1/PT.01.03/2023

DAFTAR PUSTAKA

- Astawa, K., & Suarnadwipa, N. (2016). Pengaruh variasi jenis pasir sebagai media penyimpan panas terhadap performansi kolektor suya tubular dengan pipa penyerap disusun secara seri. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 9(2), 161–165. <http://ojs.unud.ac.id/index.php/jem:Tel/Fax.:087863052230/62361703321>
- Ayyappan, S., Mayilsamy, K., & Sreenarayanan, V. V. (2016). Performance improvement studies in a solar greenhouse drier using sensible heat storage materials. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 52(3), 459–467. <https://doi.org/10.1007/s00231-015-1568-5>
- Azaizia, Z., Kooli, S., Hamdi, I., Elkhail, W., & Guizani, A. A. (2020). Experimental study of a new mixed mode solar greenhouse drying system with and without thermal energy storage for pepper. *Renewable Energy*, 145, 1972–1984. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.055>
- Duque-Dussán, E., Sanz-Urbe, J. R., & Banout, J. (2023). Design and evaluation of a hybrid solar dryer for postharvesting processing of parchment coffee. *Renewable Energy*, 215. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118961>
- Huang, D., Men, K., Tang, X., Li, W., & Sherif, S. A. (2021). Microwave intermittent drying characteristics of camellia oleifera seeds. *Journal of Food Process Engineering*, 44(1). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13608>
- Ida, N., Yosika, W., Hawa, L. C., Hendrawan, Y., Keteknikan, J. T., Teknologi, P.-F., Brawijaya, P.-U., Veteran -Malang, J., & Korespondensi, P. (2020). Characteristics and Drying Rate of Cabya (*Piper retrofractum* Vahl.) with Natural Drying Method (Open Sun Drying). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 21(3), 165–174.
- Irfan, A. M., Rasyid, A. R., & Lestari, N. (2020). Unjuk Kerja Pengerian Tenaga Surya Tipe Efek Rumah Kaca Untuk Pengerian Cabai Dengan Perlakuan Low Temperature Long Time Blanching. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 13(2), 42–58.
- Jiang, D., Li, C., Lin, Z., Wu, Y., Pei, H., Zielinska, M., & Xiao, H. (2023). Experimental and numerical study on the shrinkage-deformation of carrot slices during hot air drying. *International Journal Agricultural and Biological Engineering*, 16(1), 260–272. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20231601.6736>
- Koehuana, V. A., Goab, K. Y., & Jafri, M. (2022). Pengujian Rumah Pengerian Daun Kelor dengan Efek Rumah Kaca (Solar Dryer) Melalui Variasi Kecepatan Udara. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 5(2), 68–81. <https://doi.org/10.18196/jmpm.v5i2.13899>
- Mayor, L., & Sereno, A. M. (2004). Modelling shrinkage during convective drying of food materials: A review. *Journal of Food Engineering*, 61(3), 373–386. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(03\)00144-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(03)00144-4)
- Mursalim, M., Hariyadi, P., & Soekarto, S. T. (2021). PENGARUH LUAS PERMUKAAN BONGKAHAN KAPUR API TERHADAP LAJU PENERINGAN FILLET IKAN PATIN. *Jurnal Bio-Geo Material Dan Energi*, 1(1), 46–52.
- Nabnean, S., & Nimnuan, P. (2020). Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100787>
- Srinivasan, G., Rabha, D. K., & Muthukumar, P. (2021). A review on solar dryers integrated with thermal energy storage units for drying agricultural and food products. *Solar Energy*, 229, 22–38. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.07.075>
- Winarno, J., Sri, D., & Hutomo, G. (2023). Investigasi Kinerja Energi dan Eksergi Pengerian Surya Konveksi Alamiah

Terdistribusi dengan Media Penyimpan Panas Pasir. In *Jurnal Rekayasa Mesin* (Vol. 18, Issue 2). <https://jurnal.polines.ac.id/index.php/rekayasa>

Yao, Y., Pang, Y. X., Manickam, S., Lester, E., Wu, T., & Pang, C. H. (2022). A review study on recent advances in solar drying: Mechanisms, challenges and perspectives. In *Solar Energy Materials and Solar Cells* (Vol. 248). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2022.111979>

Zamharir, Z., Sukmawaty, S., & Priyati, A. (2016). Analisis Pemanfaatan Energi Panas pada Pengeringan Bawang Merah (*Allium ascalonicum* L.) dengan menggunakan Alat Pengering Efek Rumah Kaca (ERK). *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 4(2), 264–274.