**Karakteristik Fisik Proses Pengeringan Biji Sorgum (*Sorghum Bicolor L. Moench*) dengan Menggunakan Pengering Hybrid Tipe Rak*****Physical Characteristics of The Sorghum Seeds (Sorghum Bicolor L. Moench) Drying Process using A Hybrid Tray Dryer*****Siti Mariyam, Yasin Helyartha Utama, Devi Yuni Susanti, dan Ratna Rosita Dewi**Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian
Universitas Gadjah MadaJl. Flora Bulaksumur No.1, Kocoran, Caturtunggal, Kec. Depok,
Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakartasiti.mariyam@ugm.ac.id**Abstrak**

Proses pengeringan biji sorgum secara konvensional menggunakan sinar matahari memiliki beberapa kendala, seperti ketergantungan terhadap kondisi cuaca, lahan yang luas, dan kemungkinan pencemaran bahan. Sehingga penting untuk dimodifikasi dengan menggunakan teknologi pengeringan yang tepat. Inovasi dari penelitian ini adalah pengembangan pengering tipe rak dengan sumber energi dari kombinasi sinar matahari dan biomassa. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perubahan suhu, kadar air dan menentukan konstanta laju pengeringan. *Tray dryer* dilengkapi dengan lubang pemanas yang berfungsi untuk memasak sari buah sorgum. Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi debit udara, yaitu $0,124\text{m}^3/\text{s}$, $0,158\text{m}^3/\text{s}$, dan $0,192\text{m}^3/\text{s}$. Proses pengeringan ini dilakukan selama 6 jam dengan kapasitas bahan 30 kg. Kayu yang digunakan dalam proses ini adalah kayu melinjo (*Gnetum gnemon Linn.*). Hasil analisis data menunjukkan bahwa semakin besar debit/aliran udara, menyebabkan suhu udara dan suhu bahan menjadi lebih rendah. Kadar air sorgum yang dapat dikeringkan dari kadar air awal (wb) 16,04% sampai 7,89%. Sedangkan di kondisi lingkungan/kontrol kadar air awal 16,85% sampai mencapai 7,86%. Kedua proses ini tidak memiliki perbedaan signifikan. Dalam proses pengeringan biji sorgum ini terdapat dua periode, yaitu laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun. Nilai laju pengeringan konstan berturut-turut adalah $0,00037\%/menit$, $0,00046\%/menit$, dan $0,00038\%/menit$. Sedangkan periode laju pengeringan menurun adalah $0,01348\%/menit$; $0,01541\%/menit$, dan $0,01557\%/menit$. Metode pengeringan hybrid yang dikembangkan mempunyai kelebihan dapat mengeringkan bahan dengan stabil dan menggunakan sumber panas yang tersedia secara berkelanjutan. Penelitian ini dapat bermanfaat sebagai referensi alternatif teknologi pengeringan biji sorgum.

Kata kunci: kadar air; kinetika; konstanta laju pengeringan; suhu**Abstract**

Conventional sorghum seed's drying process using sunlight has several drawbacks, such as dependence on weather conditions, need large area, and the possibility of material contamination. So it is important to modify using the suitable drying technology. The innovation of this research is the development of a rack-type dryer with an energy source from a combination

*of sunlight and biomass. This study aims to analyze changes in temperature, moisture content and determine the drying rate constant. The tray dryer is equipped with a heating hole that functions to cook sorghum juice. In this study, three variations of air flow were used, namely $0.124\text{m}^3/\text{s}$, $0.158\text{m}^3/\text{s}$, and $0.192\text{m}^3/\text{s}$. This drying process is carried out for 6 hours with a material capacity of 30 kg. The wood used in this process is melinjo wood (*Gnetum gnemon* Linn.). The results of data analysis show that the greater the air flow, the lower the air temperature and material temperature. The water content of sorghum that can be dried from the initial moisture content (*wb*) is 16.04% to 7.89%. Meanwhile, in environmental conditions/control, the initial water content (*wb*) was 16.85% to 7.86%. There are no significant differences between these two processes. In the process of drying sorghum seeds, there are two periods, namely constant drying rate and falling drying rate. The constant drying rate values were 0.00037%/minute, 0.00046%/minute, and 0.00038%/minute, respectively. While the falling drying rate period was 0.01348%/minute; 0.01541%/minute, and 0.01557%/minute. The developed hybrid drying method has the advantage of being able to dry the material stably and using a continuously available heat source. This research can be useful as an alternative reference for sorghum seed drying technology.*

Keywords: drying rate; kinetics; temperature; water content

PENDAHULUAN

Sorghum banyak dimanfaatkan sebagai sumber makanan, pakan ternak, serat dan energi alternatif. Sorghum mempunyai potensi untuk dikembangkan dengan melakukan optimasi pada proses pengolahannya. Peningkatan kualitas sorghum dapat dilakukan dengan memperbaiki varietas, teknologi dan regulasi pemerintah untuk mendukung bahan baku lokal. Teknologi dibutuhkan untuk mengubah sorghum menjadi produk yang bermanfaat dan tersedia secara luas. Faktor ekonomi dan ketersediaan sorghum dengan kualitas bagus merupakan faktor penghambat pemanfaatan sorghum (Wang *et al.* 2016). Peningkatan kualitas dan keamanan produk akan mendukung ketahanan pangan, nutrisi, dan ekonomi sebuah negara.

Sektor pertanian membutuhkan perhatian pada adopsi teknologi karena hal ini merupakan cara efektif untuk meningkatkan ketersediaan dan ketahanan pangan (Djihad *et al.* 2021). Salah satu daerah penanaman sorghum yang terdapat di Daerah Istimewa Yogyakarta adalah di Dusun Talkondo, Desa Poncosari, Srandakan, Bantul. Petani menghadapi kendala pascapanen yang mengakibatkan kehilangan massa yang cukup tinggi. Permasalahan tersebut karena tingginya kadar air karena kelembaban udara yang tinggi menyebabkan kerusakan pada komoditas. Oleh karena itu diperlukan proses pengeringan yang tepat dan pengemasan yang baik untuk meningkatkan keamanan pangan (Bradford *et al.* 2018).

Pengeringan merupakan metode untuk meningkatkan umur simpan dari biji-bijian dengan menurunkan aktivitas air yang berakibat penurunan aktivitas mikroba dan biokimia dari produk (Wang *et al.* 2018). Pengeringan dengan menggunakan bantuan sinar matahari dilakukan dengan cara menyebarkan produk pada tanah, terpal, meja pengering atau pada lantai. Biji-bijian dapat dikeringkan sampai kadar air seimbang dengan rata-rata kelembaban harian. Meski demikian, pengeringan dengan matahari dan menutupi dengan terpal pada malam hari dapat menurunkan ERH (*Equilibrium Relative Humidity*) mendekati kelembaban minimum harian (Bradford *et al.* 2018).

Pengeringan biji sorgum merupakan tahap yang penting untuk mengurangi kadar air bahan yang juga berpengaruh terhadap karakter fisik, tekstur, rasa, nutrisi, dan umur simpan. Pengeringan dengan sinar matahari merupakan cara sederhana yang sudah lama digunakan (Karthikeyan and Murugavelh, 2018). Untuk meningkatkan hasil pengeringan dan meminimalisir kontaminasi selama proses pengeringan, direkomendasikan agar pengeringan dimulai lebih awal di pagi hari untuk mengurangi kadar air dengan optimal sebelum matahari terbenam (Ntwali *et al.* 2021). Selama ini, pengeringan dengan cahaya matahari sudah dapat digunakan, akan tetapi metode ini tidak dapat digunakan setiap waktu karena dipengaruhi cuaca dan ketersediaan cahaya matahari. Beberapa kekurangan yang diakibatkan yaitu penurunan kualitas, kapasitas, akurasi, dan efisiensi proses (Lamidi *et al.* 2019). Selain itu juga membutuhkan waktu yang lama dan tergantung dari kondisi eksternal seperti suhu, kecepatan angin, panas yang tersedia, dan kelembaban udara (Sansaniwal *et al.* 2018), produk juga dapat terkontaminasi oleh burung, serangga, dan tikus (Fudholi *et al.* 2014).

Metode pengeringan yang bisa dijadikan solusi yaitu dengan memanfaatkan *cabinet dryer* yang sederhana akan tetapi cukup efektif digunakan dalam pengeringan makanan (Siskawardani *et al.* 2021). *Cabinet dryer* merupakan alat pengering yang mempunyai beberapa tumpukan rak dan menggunakan sumber energi dari LPG dengan menggunakan *blower* dan dilengkapi pengatur suhu (Mardinah *et al.* 2012). Prinsip kerja alat ini yaitu udara kering dihembuskan lewat media pemanas dan melalui bahan sehingga menguapkan air pada bahan ke lingkungan (Suwati *et al.* 2021). Pada penelitian ini digunakan alat pengering tipe hybrid dengan sumber sinar matahari dan biomassa. Kelebihan penggunaan alat ini yaitu dapat dilakukan kontrol suhu, perlindungan bahan dan tidak membutuhkan lahan yang luas. Pada saat sinar matahari mencukupi, alat dapat dioperasikan dengan sinar matahari saja akan tetapi ketika sinar matahari kurang maka dapat digunakan biomassa yang dibakar didalam tungku dan dialirkan udara panasnya. Dalam sekali proses pengeringan biomassa yang digunakan dapat berupa kayu kering yang dijual belikan ataupun kelompok tani dapat memperoleh biomassa secara gratis karena dapat ditemukan di sekitar lokasi proses pengeringan. Lokasi pengeringan berada di desa yang dikelilingi oleh areal pertanian yang luas sehingga dapat dengan mudah memperoleh kayu bakar ataupun biomassa yang lainnya. Pada desain alat ini juga dapat digunakan untuk memasak nira sorgum sehingga dapat menambah daya guna alat tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis proses pengeringan biji sorgum (*Sorghum bicolor (L.) Moench*) dengan menggunakan pengering tipe hybrid bersumber energi sinar matahari dan biomassa. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan suatu informasi ilmiah mengenai hasil uji kinerja pengering tipe hybrid. Hasil penelitian diharapkan dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan dan teknologi dalam bidang pengeringan khususnya dalam proses pengeringan biji sorgum.

METODOLOGI

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu alat pengering tipe hybrid, Termokopel merk Lutron dengan tipe TM-903A, Thermohygrometer tipe SK-90TRH, *Air flow meter* tipe TN-27, timbangan digital Shimadzu model AW 220, Oven Sanyo AC-220V, plastik *V Polyvinyl Chloride*, *Blower* Listrik 2-inch NRT-PRO NORITA, label

kertas, dan cawan aluminium. Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu biji sorgum hasil pertanian dari Kelompok Tani Bismo Dusun Talkondo, Desa Poncosari, Srandakan, Bantul. Proses pemanenan biji sorgum dipanen setiap 3-4 bulan sekali, setelah panen biji sorgum didiamkan 1-2 jam untuk mengurangi kelembaban biji untuk mempermudah perontokan biji sorgum. Selain itu, kayu melinjo melinjo (*Gnetum gnemon Linn.*) digunakan sebagai biomassa sumber bahan bakar.

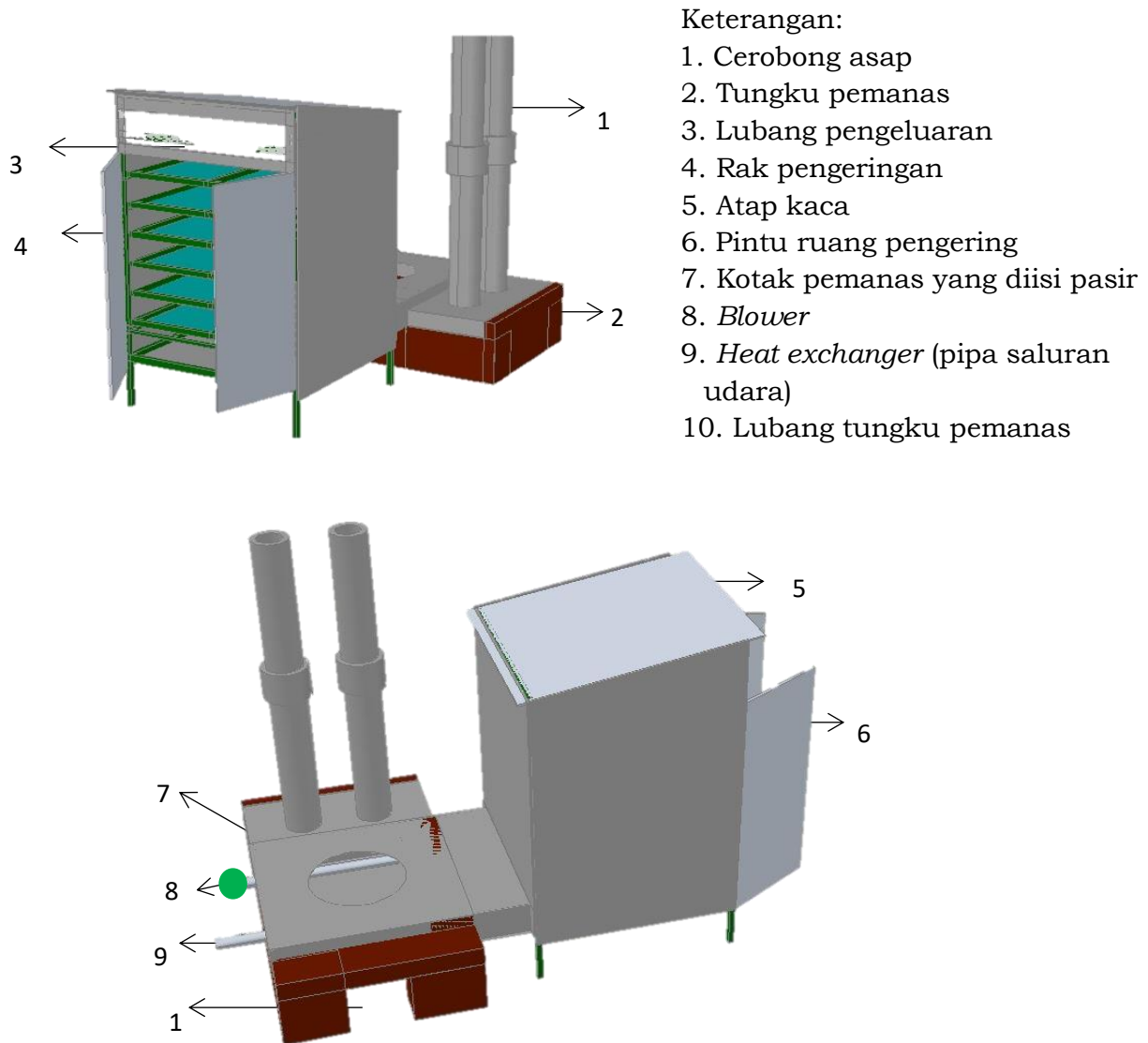
Alat pengering tipe hybrid merupakan alat utama dalam penelitian ini, alat ini terdiri dari beberapa bagian penting yaitu: tungku, cerobong asap, lemari pengering, atap kaca, rak pengering, *blower*, pipa aliran udara, kotak pasir, dan wajan pemanas. Alat pengering tipe hybrid ini menggunakan bahan bakar biomassa kayu bakar dan dihibridisasi dengan panas dari radiasi matahari yang terserap oleh atap kaca pada lemari pengering. Pada alat ini terdapat lubang pengeluaran udara sisa yang terletak di bagian atas pintu lemari pengering, dengan adanya lubang pengeluaran tersebut maka sisa uap air pengering dapat keluar ke lingkungan. Pasir digunakan untuk menyimpan panas yang dihasilkan oleh tungku, hal ini dilakukan menjaga kestabilan suhu pemanasan agar tidak tergantung pada debit kalor hasil pemanasan tungku. Pasir yang akan digunakan harus dicuci terlebih dahulu agar bersih dan terbebas dari debu atau kotoran lainnya. Setelah dicuci bersih, pasir tersebut kemudian dijemur sampai kering dan dimasukkan ke dalam kotak pasir yang berada di atas tungku. Wajan pemanas diletakkan di atas pasir dan digunakan untuk memasak nira sorgum atau keperluan lainnya sehingga panas yang dihasilkan tungku tidak terbuang dan bisa digunakan secara optimum.

Tungku yang digunakan sebagai pemanas dibuat dari bahan batu bata dan semen. *Blower* yang digunakan berupa dua buah *blower* yang mempunyai daya masing-masing 150 Watt. Cerobong asap digunakan untuk menghembuskan asap hasil pembakaran agar tidak masuk ke lemari pengering. Skema alat dapat dilihat pada Gambar 1.

Tahapan pengeringan dengan alat ini yaitu: tungku memanaskan kotak yang berisi pasir yang telah dibersihkan, pasir berfungsi menyimpan panas yang dihasilkan sehingga dapat digunakan untuk memasak nira sorgum, panas yang diserap pasir akan disalurkan ke pipa udara pemanas yang telah tersambung dengan *blower*, *blower* menghembuskan udara yang melewati pipa sehingga udara mendapatkan transfer panas dari pipa atau *heat exchanger*. Udara panas bergerak memasuki ruang *plenum* kemudian naik melalui lubang kawat kasa pada rak dan mengalir melewati bahan yang dikeringkan. Akibatnya, air pada bahan mengalami penguapan dan kadar air bahan menurun. Udara yang telah membawa uap air bahan tersebut akan keluar melewati lubang pengeluaran. Penelitian ini menggunakan variasi debit aliran udara dari 2 *blower* dengan variasi aliran udara pada Tabel 1.

Tabel 1. Variasi Aliran Udara *Blower*

Variasi	Debit (m ³ /s)
Kontrol	0
1	0,124
2	0,158
3	0,192



Gambar 1. Desain pengering tipe hybrid

Perubahan kadar air (db) selama pengeringan didekati dengan persamaan matematis pada laju pengeringan konstan dan laju pengeringan menurun (Susanti *et al.* 2021). Selama periode laju pengeringan konstan, air permukaan pada bahan diuapkan ke lingkungan sehingga kadar air menurun dengan laju konstan. Model matematis yang menyatakan laju pengeringan konstan dinyatakan dalam persamaan berikut (Susanti *et al.* 2016; Susanti *et al.* 2021):

$$\frac{dM}{dt} = -k \quad (1)$$

$$M(t) = -k.t + M(0) \quad (2)$$

Sedangkan laju pengeringan menurun terjadi setelah periode pengeringan konstan selesai. Pada tahap ini kecepatan aliran air bebas dari dalam biji ke permukaan lebih kecil dari kecepatan pengambilan uap air maksimum dari biji. Dengan asumsi bahwa laju penurunan kadar air bahan dari sebutir bijian yang dikeringkan oleh udara pengering di sekelilingnya sebanding dengan perbedaan antara kadar air

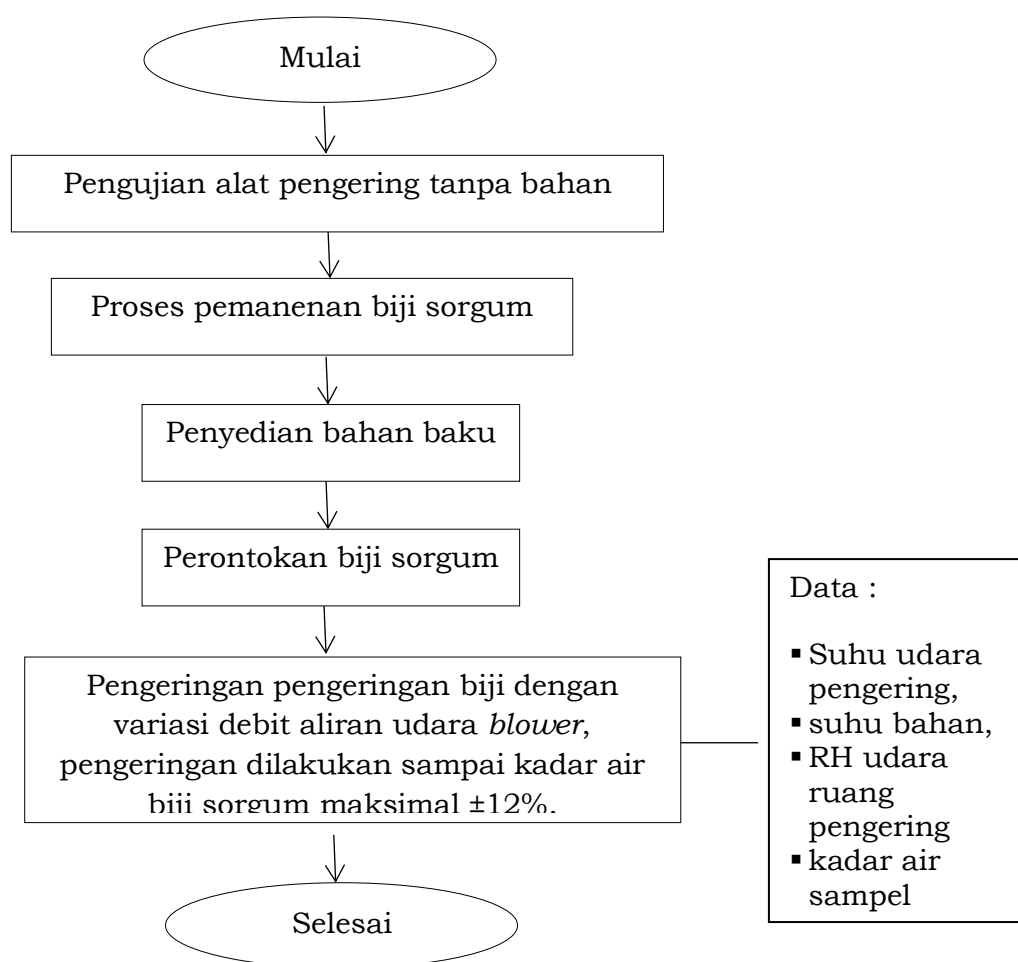
bijian $M(t)$ dengan kadar air bahan setimbang M_e . Dari hal tersebut maka dapat dicari nilai konstanta laju pengeringan (k) menurun yang dapat diselesaikan dengan pengintegralan dan pemisahan variabel sehingga didapat model untuk laju penguapan air sebagai berikut (Susanti *et al.* 2016):

$$\frac{dM}{dt} = -k \cdot (M - M_e) \quad (3)$$

$$\int_{M(0)}^{M(t)} \frac{dM}{M - M_e} = -k \cdot \int_0^t dt \quad (4)$$

$$\ln \left(\frac{M(t) - M_e}{M(0) - M_e} \right) = -k \cdot t \quad (5)$$

$$M_t = e^{-k \cdot t} \cdot (M_0 - M_e) + M_e \quad (6)$$



Gambar 2. Diagram alir pengambilan data pengeringan biji sorgum

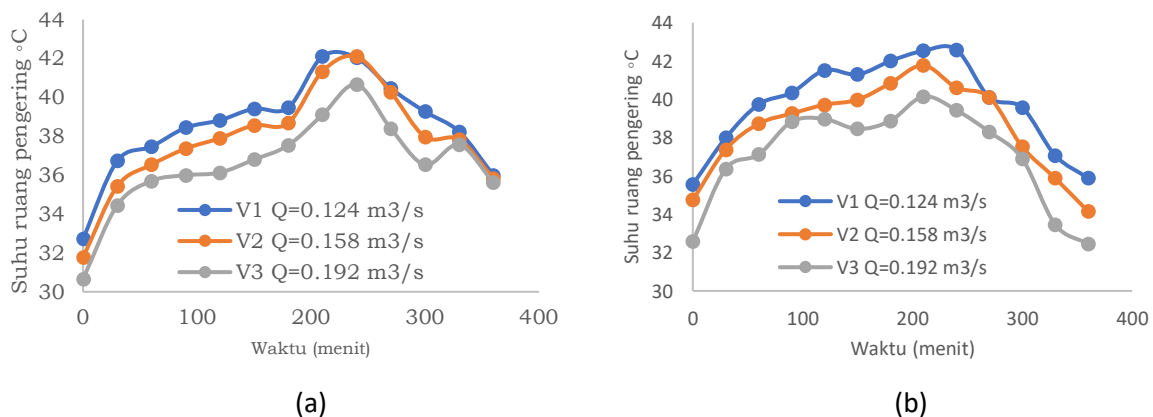
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengeringan mekanis dengan menggunakan pengering tipe hybrid mengadopsi konsep efek rumah kaca dengan bantuan sinar matahari serta panas yang dipadu dengan penggunaan bahan bakar untuk membantu proses pemanasan udara. Bahan bakar yang digunakan adalah kayu melinjo. Dengan adanya bantuan sumber pemanas, maka alat pengering ini dapat digunakan pada saat mendung atau hujan sehingga dapat dikatakan sebagai alat pengering *hybrid*. Ketika tidak

ada cahaya matahari, alat ini dapat beroperasi dengan energi dari sumber biomassa (Hamdani *et al.* 2018). Proses pemanasan udara yang terjadi pada alat pengering menggunakan prinsip perpindahan konveksi yang terjadi dengan udara panas yang dialirkan. Udara panas didapat dari udara proses pemanasan, ketika melewati bagian atas tungku yang terisi pasir, udara dapat mengalir dikarenakan hembusan dari *blower* yang selanjutnya mengalir menuju ruang pengering. Media pembawa uap air yang digunakan dalam pengeringan adalah udara panas.

Dalam penelitian ini, dilakukan tiga variasi laju aliran udara yang berbeda-beda. *Blower* berfungsi sebagai alat untuk menghembuskan udara, sehingga udara panas yang dihasilkan oleh tungku dapat mengalir menuju rak pengering. Pada penelitian ini, debit aliran udara yang digunakan yaitu 0,124, 0,158 dan 0,192 m³/s. Terdapat pengeringan kontrol yang diamati yaitu dengan cara pengeringan menggunakan sinar matahari secara langsung.

Gambar 3.a memperlihatkan perubahan suhu pada ketiga variasi debit aliran udara pengering tanpa bahan yang dikeringkan. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa suhu maksimum pada ruangan pengering sebesar 42,10°C, sementara kenaikan suhu rata-rata mencapai 11,43°C dari suhu awal. Sedangkan setelah bahan dimasukkan, perubahan suhu dapat dilihat pada Gambar 3.b, suhu maksimum pada ruang pengering yaitu 41,71 °C, sementara kenaikan suhu rata-rata mencapai 10,21 °C. Penelitian oleh Resende *et al.* (2014) pengeringan biji sorgum dengan menggunakan *bed dryer* menyimpulkan bahwa kenaikan suhu pengeringan dan kecepatan aliran udara dapat mengurangi waktu pengeringan biji sorgum. Pengurangan waktu pengeringan berhubungan dengan perbedaan tekanan uap air dari udara pemanas dan produk karena adanya kenaikan suhu dan kecepatan aliran udara, menyebabkan air lebih mudah diuapkan lebih cepat dan mudah.

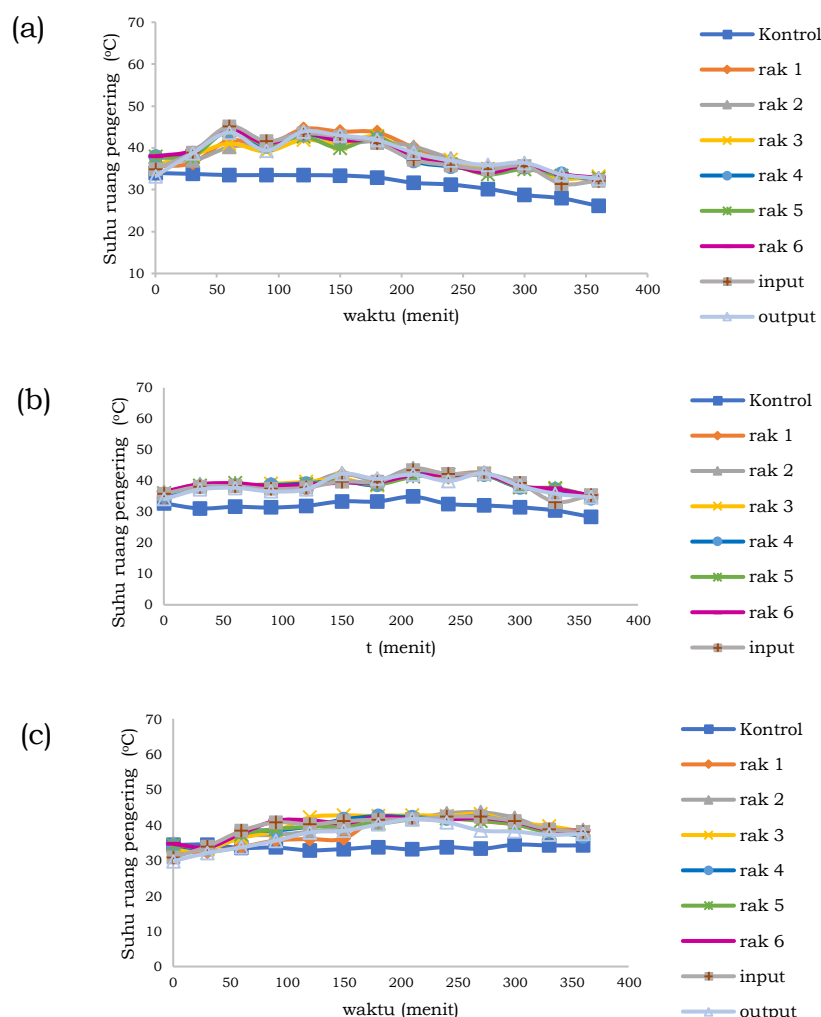


Gambar 3. Perubahan suhu udara ruang pengering: (a) tanpa bahan; (b) kondisi pengeringan dengan bahan

Jika dilihat pada masing-masing variasi kecepatan aliran udara, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi debit aliran udara yang mengalir maka suhu yang dihasilkan akan semakin rendah. Hal ini terjadi karena proses pemanasan udara menjadi lebih singkat, dimana suhu udara pengering pada variasi 1 lebih tinggi daripada variasi 2 dan 3, karena variasi 1 memiliki aliran udara yang lebih rendah. Dalam penelitian ini, diamati distribusi suhu untuk masing-masing rak

dalam ruang pengering. Perubahan suhu udara pada setiap bagian ruang pengering ditunjukkan pada Gambar 4.

Grafik pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa suhu lingkungan atau kontrol tidak mengalami kenaikan secara signifikan, hal ini berbeda dengan suhu ruang pengering yang secara keseluruhan mengalami peningkatan. Rak 1 merupakan rak paling bawah dimana terletak di bagian terdekat dengan sumber udara pemanas. Udara yang mengalir melalui rak satu akan naik melewati beberapa rak di atasnya dan melepaskan sebagian panasnya untuk menguapkan air pada bahan di atasnya. Dapat dijelaskan bahwa suhu pada bagian bawah ruang pengering lebih tinggi karena dekat dengan sumber ruang pemanas yaitu dari hembusan aliran udara *blower*, sedangkan sisa dari aliran panas tersebut digunakan untuk memanaskan bagian lainnya sehingga bagian atas dan tengah suhunya lebih rendah. Pada penelitian yang dilakukan Franke *et al* (2008), pengeringan dengan metode hybrid sinar matahari dan pembakaran biomassa menunjukkan bahwa nilai suhu pengeringan lebih tinggi dibandingkan dengan lingkungan. Hal ini mendukung alat untuk dapat menurunkan kadar air bahan pada waktu yang lebih pendek.



Gambar 4. Perubahan suhu ruang pengering pada variasi debit (a) 0,124, (b) 0,158 dan (c) 0,192 m³/s.

Aliran udara yang dihembuskan secara terus menerus mengakibatkan perpindahan panas secara konveksi yang menyebabkan terjadinya kenaikan suhu

pada bahan. Lama proses pengeringan harus diketahui agar bahan dapat mencapai kadar air tertentu atau kadar air yang diinginkan dengan tujuan menghasilkan produk akhir yang berkualitas. Proses pengeringan pada penelitian ini dilakukan selama 6 jam. Hamdani *et al* (2018) menyatakan pengering tipe hybrid yang menggunakan energi matahari dan biomassa dapat mengeringkan bahan berupa ikan dalam waktu 15 jam.

Apabila proses pengeringan terlalu lama akan menyebabkan penurunan kualitas produk yang dihasilkan. Pada kondisi panen, biji sorgum memiliki kadar air yang cukup tinggi sehingga memiliki nilai *Aw* (*water activity*) tinggi. Nilai tersebut menunjukkan kandungan air dalam bahan yang dapat digunakan untuk aktivitas mikroorganisme sehingga memicu munculnya pertumbuhan bakteri dan jamur. Kondisi tersebut sangat merugikan dalam proses penyimpanan biji sorgum. Oleh karena itu, pengeringan biji sorgum harus mencapai batas kadar air aman untuk proses penyimpanan.

Hasil kadar air yang diperoleh dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengeringan dengan menggunakan alat dapat menghasilkan biji sorgum dengan kadar air yang hampir sama dengan pengeringan dengan matahari (*sun drying*). Kadar air sorgum yang dikeringkan pada debit 0,124 m³/s, dari kadar air awal 16,34% sampai mencapai kadar air akhir 8,80%. Penurunan kadar airnya sebesar 7,54%. Sedangkan di kondisi lingkungan/kontrol kadar air awal sebesar 16,19% dan kadar air akhir 8,81%, dengan penurunan kadar air sebesar 7,38%. Pada variasi debit 0,158 m³/s kadar air awal yaitu 17,23% dan kadar air akhir 9,62%, terjadi penurunan kadar air sebesar 7,61%. Sedangkan kondisi kontrol dari kadar air 17,53% sampai 7,98%, dan mengalami penurunan kadar air sebesar 9,55%. Pada variasi debit 0,192 m³/s, kadar air awal yaitu 14,54% dan kadar air akhir 5,23%, terjadi penurunan kadar air sebesar 9,31%. Sedangkan kondisi kontrol dari kadar air 16,85% sampai 6,8%, dan mengalami penurunan kadar air sebesar 10,05%.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa kadar air mengalami penurunan tiap waktu hingga mendekati konstan. Pada grafik tersebut terlihat bahwa pada masing-masing rak mengalami perubahan kadar air yang berbeda. Hal tersebut disebabkan oleh perbedaan laju kecepatan udara dan suhu udara pengering yang dihembuskan dan suhu udara ruang pengering. Kenaikan suhu udara pemanasan akan mengurangi nilai RH, sehingga meningkatkan kemampuan pengeringan untuk menurunkan kadar air bahan.

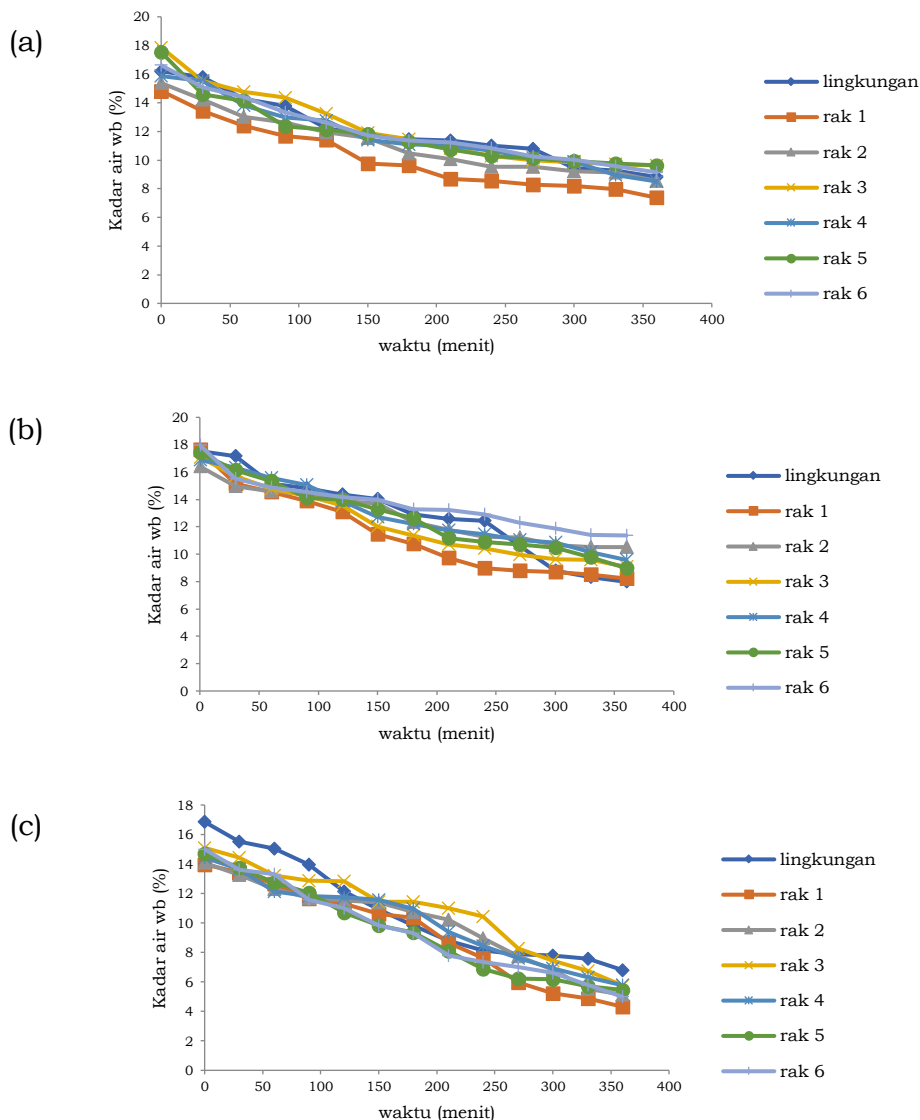
Proses pengeringan pada bahan yang berkadar air tinggi, terbagi menjadi dua periode yaitu periode laju konstan dan periode laju menurun. Periode laju konstan (*constant rate period*) adalah laju saat air yang berada di permukaan partikel bahan menguap ke lingkungan, dan periode laju menurun (*falling rate period*) adalah laju saat air dalam bahan mulai menguap. Periode laju menurun akan mencapai keseimbangan pada keadaan tidak ada perubahan kadar air bahan meskipun waktu pengeringan diperpanjang. Kadar air kritis adalah batas di antara kadar air fase konstan dan fase menurun. Laju pengeringan bahan dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya kadar air, kelembaban dan kecepatan aliran udara pengering.

Tabel 2 menyajikan nilai laju pengeringan konstan pada setiap rak dan dibandingkan dengan nilai laju pengeringan konstan pada pengeringan sinar matahari. Nilai laju pengeringan konstan tersebut dianalisis dengan menggunakan persamaan (1), nilai laju pengeringan tersebut ditentukan dengan melihat nilai

kemiringan grafik antara penurunan kadar air setiap waktu. Dari Tabel 2 dapat diketahui bahwa terjadi penurunan konstanta laju pengeringan karena pengaruh laju aliran udara.

Tabel 2. Nilai konstanta laju pengeringan konstan pada proses pengeringan biji sorgum

Debit udara (m ³ /s)	Nilai konstanta (%/menit)								
	Sun drying	Rak 1	Rak 2	Rak 3	Rak 4	Rak 5	Rak 6	Rata-rata	
0,124	-0,00035	-0,0004	-0,00035	-0,0005	-0,0004	-0,0002	-0,0004	-0,00037	
0,158	-0,0003	-0,00045	-0,0004	-0,00045	-0,00035	-0,0004	-0,00085	-0,00046	
0,192	-0,0005	-0,0003	-0,0003	-0,00035	-0,0003	-0,00045	-0,00045	-0,00038	
		Rata-rata							-0.00053



Gambar 5. Perubahan kadar air (wb) ruang pengering selama proses pengeringan pada variasi debit (a) 0,124, (b) 0,158 dan (c) 0,192 m³/s.

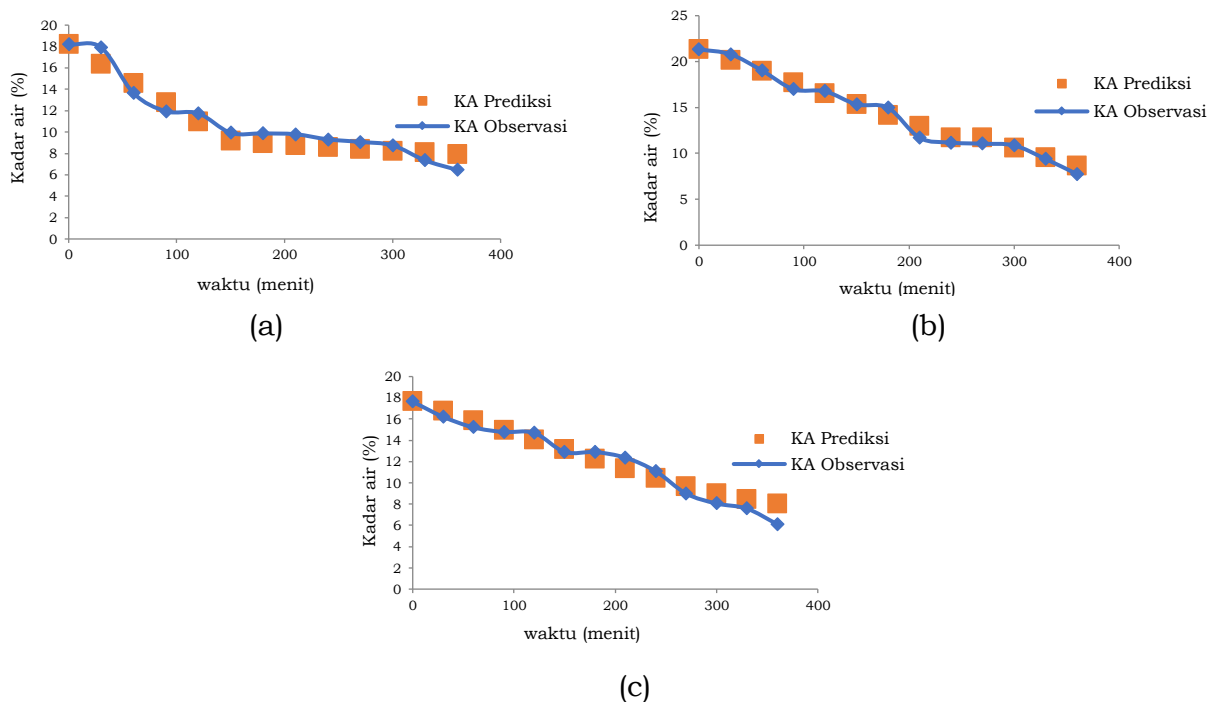
Setelah massa air pada permukaan dalam bahan diuapkan, selanjutnya massa air yang terikat di dalam bahan diuapkan. Pada fase ini penguapan berjalan lambat karena air dalam bahan terikat lebih kuat dengan partikel bahan. Pada saat

partikel mulai teruapkan maka pengeringan memasuki periode laju menurun. Dari persamaan tersebut dibuat grafik $\ln M - M_e / M_0 - M_e$ terhadap waktu (menit). Nilai konstanta laju pengeringan kerupuk sorgum pada periode menurun pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 3. berikut ini.

Tabel 3. Nilai konstanta laju pengeringan menurun pada proses pengeringan biji sorgum

Debit udara (m ³ /s)	Nilai konstanta (%/menit)							
	<i>Sun drying</i>	Rak 1	Rak 2	Rak 3	Rak 4	Rak 5	Rak 6	Rata-rata
0,124	-0,01145	-0,01405	-0,01565	-0,0175	-0,00865	-0,01465	-0,0124	-0,01348
0,158	-0,0311	-0,0135	-0,0212	-0,01405	-0,00955	-0,0104	-0,0081	-0,01541
0,192	-0,0045	-0,0186	-0,03205	-0,01695	-0,0127	-0,0122	-0,012	-0,01557
			Rata-rata					-0,01482

Periode laju pengeringan menurun terjadi setelah periode laju pengeringan konstan selesai. Pada tahap ini penguapan air dari dalam bahan berjalan lambat karena adanya hambatan yang terdapat dalam partikel bahan. Nilai laju pengeringan pada setiap rak tidak berbeda secara signifikan. Nilai tersebut sesuai dengan dengan suhu pada setiap rak yang hampir sama. Hal ini menunjukkan bahwa sirkulasi udara pengeringan dapat mendistribusikan energi panas dan menguapkan air pada bahan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Susanti *et al* (2016) yang melakukan pengeringan kerupuk sorgum pada alat pengering tipe hybrid, nilai laju pengeringan pada setiap rak tidak berbeda jauh.

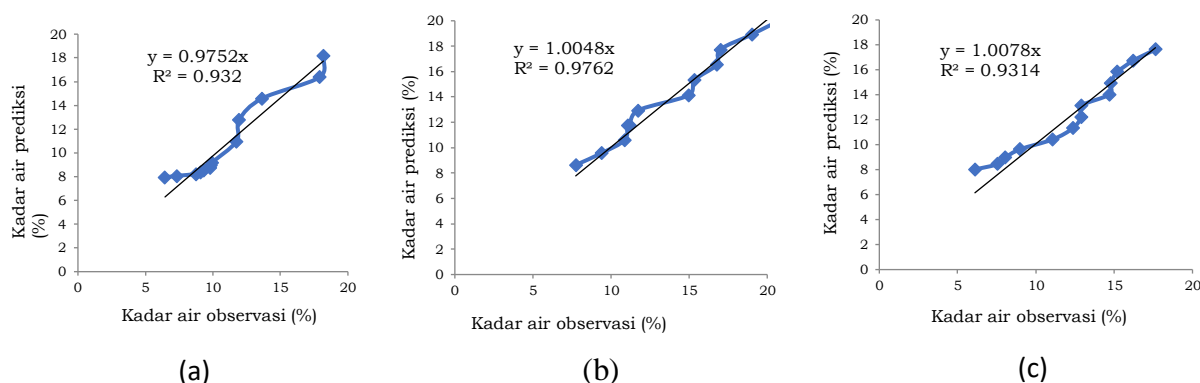


Gambar 6. Perbandingan kadar air prediksi dan kadar air observasi selama proses pengeringan pada variasi debit (a) 0,124, (b) 0,158 dan (c) 0,192 m³/s.

Dengan menggunakan nilai konstanta laju pengeringan baik pada tahap konstan maupun menurun, nilai kadar air prediksi dapat ditentukan. Untuk melihat kesesuaian model dan nilai konstanta yang didapatkan, nilai prediksi perlu dibandingkan dengan data observasi melalui termogravimetri. Penentuan kadar air prediksi dapat ditentukan berdasarkan grafik persamaan linier hubungan kadar

observasi dengan kadar air prediksi. Setelah diperoleh nilai kadar air observasi dan nilai kadar air prediksi, maka dilakukan perbandingan antara keduanya terhadap waktu (t). Dalam Gambar 6 dapat diketahui tingkat kedekatan kadar air observasi dengan kadar air prediksinya melalui uji validasi. Pada grafik tersebut nilai kadar air observasi sebagai absis dan kadar air prediksi sebagai ordinat dengan *intercept* 0,0. Tingkat kedekatan antara kadar air observasi dengan kadar air prediksi dapat diketahui dari sebaran titik pada grafik. Hal tersebut juga dapat dibuktikan dari nilai R^2 yang didapat dari grafik, dimana nilai R^2 yang semakin mendekati 1, maka menunjukkan tingkat validitas yang tinggi. Hal tersebut dapat dikatakan bahwa perhitungan kadar air prediksi yang bergantung pada nilai k (konstanta) memiliki tingkat keakuratan yang tinggi.

Untuk mengetahui tingkat keakuratan kadar air maka dapat dilihat pada uji validasi kadar air pada Gambar 7. Dari hasil yang didapatkan, disimpulkan bahwa kadar air observasi mempunyai hubungan yang dekat dengan kadar air prediksi karena nilai gradien garis dan koefisien determinasinya tepat pada angka 1.



Gambar 7. Uji validasi kadar air prediksi dan kadar air observasi biji sorgum pada variasi debit (a) 0,124, (b) 0,158 dan (c) 0,192 m³/s.

KESIMPULAN

Alat pengering tipe hybrid digunakan untuk mengeringkan biji sorgum. Dalam pengeringan ini energi yang digunakan berasal dari matahari dan biomassa. Pengeringan dilakukan dengan 3 variasi debit udara yaitu 0,124, 0,158 dan 0,192 m³/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biji sorgum dapat dikeringkan dari kadar air (wb) 16,04% sampai 7,89%. Semakin tinggi kecepatan aliran udara blower, maka suhu udara akan semakin rendah. Terdapat kondisi suhu yang berbeda dalam setiap lapisan rak karena pengaruh posisi terhadap ruang pemanas yang berbeda. Pada proses pengeringan ini terdapat dua konstanta laju pengeringan, yaitu laju konstan dan laju menurun. Nilai konstanta laju pengeringan konstan yaitu 0.00053%/menit dan laju menurun sebesar 0,0148%/menit. Model matematis yang digunakan telah divalidasi dan hasilnya valid untuk menentukan kadar air biji sorgum pada alat pengering hybrid ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara kadar air biji sorgum pada setiap rak. Metode pengeringan hybrid yang dikembangkan mempunyai kelebihan dapat mengeringkan bahan dengan stabil dan menggunakan sumber panas yang tersedia secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Kelompok Tani Dusun Talkondo, Desa Poncosari, Srandakan, Bantul yang telah membantu dalam proses pengambilan data dan penyediaan bahan. Kami juga menyampaikan terima kasih kepada Laboratorium Teknik Pangan dan Pascapanen FTP UGM yang telah menyediakan fasilitas penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Djihad, T., Alghorbany, A., Muhamad, A. I. B., & Alam, M. M. (2021). Government Policies, Financial Scopes and Technological Usages for Agricultural Development and Post-Harvest Loss Reduction in Algeria.
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M.H. Ruslan, M. Gabbasa, H.A. Kazem. (2014). Performance analysis of solar drying system for red chili. *Sol. Energy*, 99, pp. 47-54, [10.1016/j.solener.2013.10.019](https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.019).
- Franke, L. B., Torres, M. Â. P., & Lopes, R. R. (2008). Performance of different drying methods and their effects on the physiological quality of grain sorghum seeds (*S. bicolor* (L.) Moench). *Revista Brasileira de Sementes*, 30, 177-184.
- Hamdani, T.A. Rizal, Zulfri Muhammad. (2018). Fabrication and testing of hybrid solar-biomass dryer for drying fish. *Case Stud Therm Eng*, 12 pp. 489-496, [10.1016/j.csite.2018.06.008](https://doi.org/10.1016/j.csite.2018.06.008)
- Karthikeyan, A.K. , S. Murugavelh. (2018). Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer. *Renew. Energy*, 128, pp. 305-312, [10.1016/j.renene.2018.05.061](https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.061)
- Lamidi, R.O. L. Jiang, P.B. Pathare, Y.D. Wang, A.P. Roskilly. (2019). Recent advances in sustainable drying of agricultural produce: a review. *Appl. Energy* (2019), [10.1016/j.apenergy.2018.10.044](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.044)
- Mardiah, N. and N. Mashudi. (2012). Determination of drying method (cabinet dryer and fluidized bed dryer) on compound and capacity antioxidant in dried rosela. *J. Pertanian*, 3: 104–110.
- Ntwali, J., Schock, S., Romuli, S., Chege, C., Banadda, N., Aseru, G., & Müller, J. (2021). Performance Evaluation of an Inflatable Solar Dryer for Maize and the Effect on Product Quality Compared with Direct Sun Drying. *Applied Sciences*, 11(15), 7074. MDPI AG. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.3390/app11157074>.
- Resende, O., de Oliveira, D. E. C., Chaves, T. I. H. O., Ferreira, J., & Bessa. (2014). V. (2014). Kinetics and Thermodynamic properties of the drying process of sorghum (*Sorghum bicolor* [L.] Moench) grains. *African Journal of Agricultural Research*, 9(32), 2453-2462.
- Siskawardani, D. D., Winarsih, S., & Khawwee, K. (2021). The antioxidant activity of Kelor (*Moringa oleifera* Lam.) leaves based on drying method. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 14(2).
- Sansaniwal, S.K. V. Sharma, J. Mathur. (2018). Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: a comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev*, [10.1016/j.rser.2017.07.003](https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.003)

- Susanti, D.Y., Karyadi, J.N.W., dan Mariyam, S. (2016). Drying characteristics of crackers from sorghum using tray dryer in different drying air velocities. *Journal of Advanced Agricultural Technologies* Vol 3 (4)
- Susanti, D. Y., Sediawan, W. B., Fahrurrozi, M., and Hidayat, M. (2021). Foam-mat drying in the encapsulation of red sorghum extract: Effects of xanthan gum addition on foam properties and drying kinetics, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, (xxxx). <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2021.02.007>.
- Suwati, S., Romansyah, E., Syarifudin, S., Jani, Y., Purnomo, A. H., Damat, D., & Yandri, E. (2021). Comparison between natural and cabinet drying on weight loss of seaweed *Euchuema cottonii* Weber-van Bosse. *Sarhad Journal of Agriculture*, 37(1), 1-8.
- Wang, Yi-Hong, Hari D. Upadhyaya, Ismail Dweikat. (2016). Genetic and Genomic Resources for Grain Cereals Improvement, 5 – Sorghum. Academic Press. Pages 227-25, ISBN 9780128020005. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802000-5.00005-8>.
- Wang, D., Zhang, M., Wang, Y., & Martynenko, A. (2018). Effect of pulsed-spouted bed microwave freeze drying on quality of apple cuboids. *Food and Bioprocess Technology*, 11(5), 941–952. <https://doi.org/10.1007/s11947-018-2061-1>.