

Uji Performansi Alat Pengering Tipe Terowongan Hohenheim Aceh Dengan Aplikasi *Proportional Integral Derivative Controller* Untuk Kipas Outlet

Rita Khatir^{1*}, Ulfa Hardiyanti¹, Sri Hartuti¹,

¹Program Studi Teknik Pertanian Universitas Syah Kuala
Jl Teuku Nyak Arief No 441 Kopelma Darussalam Kota Banda Aceh 23111

*rkhatir@unsyah.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i3.15541>

ABSTRACT

The purpose of this study was to evaluate the performance of Hohenheim Aceh type solar tunnel dryer with the application of proportional integral derivative (PID) controller for outlet fans. The instrumentations used were solar tunnel dryer type Hohenheim Aceh, HTC-meter, anemometer, pyranometer, and other supporting equipments. The results showed that during the drying process solar irradiation had fluctuated, where the average solar irradiation was 649 W/m². The average temperature in the drying chamber is 40.6°C while the average temperature in the environment is 32.9°C. Conditions in the drying chamber were suitable for drying because the temperature inside the dryer was relatively higher than the ambient temperature. The average relative humidity (RH) in the drying chamber was 36% and the average RH in the environment was about 40%. The relationship between temperature and RH value was negative and strong indicated by r-value of 0.7379. On the other hand, the relationship between solar irradiation and temperature was positive and also strong indicating that the energy source for this dryer was from solar irradiation with an R-square of 86.02% and r-value of 0.92747. The application of PID controller had improved the performance of Hohenheim Aceh type solar tunnel dryer by preventing the incident of improper drying temperature. However, the airflow in the drying chamber was too low thus the further engineering design is needed to improve the drying system.

Key words : dryer tunnel, proportional integral derivative, solar, temperature

PENDAHULUAN

Pengeringan adalah suatu tahapan penting dalam proses pengolahan pangan jadi atau setengah jadi, di mana fungsinya adalah untuk mengurangi kandungan air dalam bahan pangan sehingga berada pada batasan yang aman bagi pertumbuhan mikroorganisme. Hal ini selanjutnya bermanfaat untuk memperpanjang umur simpan produk pangan serta memudahkan proses transportasi, pengemasan serta menunjang proses pengolahan lanjutannya. Cara umum yang masih diaplikasikan oleh masyarakat dalam mengeringkan produk pertanian dan pangan adalah dengan penjemuran langsung di bawah sinar matahari di mana produk dibiarkan terbuka sehingga sangat rentan ancaman kontaminasi debu dan kotoran lainnya. Oleh karena itu, kehadiran teknologi pengeringan yang aman dan murah sangat dibutuhkan oleh masyarakat sehingga dapat meningkatkan kualitas serta

meringankan beban operator.

Modifikasi sebuah alat pengering terowongan tipe Hohenheim telah diinisiasikan pada tahun 2015, di mana produk yang pertama kali diuji adalah *pliek-u*, rancangan dibuat persis model aslinya dari Universitas Hohenheim (Green & Schwarz, 2001), namun dengan modifikasi material dan dimensi panjang yang lebih pendek yaitu hanya 6m di mana panjang aslinya adalah 12 m (Khatir *et al.*, 2015). Alat pengering ini sudah diuji coba untuk beberapa produk seperti cabai merah (Ridwan *et al.*, 2017), jahe merah (Mentari *et al.*, 2017), kunyit (Hanif, 2018), dan jahe gajah (Khatir *et al.*, 2020). Hasilnya menunjukkan bahwa proses pengeringan menjadi lebih cepat dan produk menjadi aman dari kontaminasi. Namun demikian dimensi alat pengering ini adalah panjang 6 m dan

Cite this as:

Khatir, R., Hardiyanti, U & Hartuti, S. (2022). Uji Performansi Alat Pengeringan Tipe Terowongan Hohenheim Aceh dengan Aplikasi *Proportional Integral Derivative Controller* untuk Kipas Outlet. *Rekayasa* 15 (3). 308-315 pp.
doi: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v15i3.15541>

© 2022 Khatir

Article History:

Received: July, 15th 2022; **Accepted:** December, 10th 2022
Rekayasa ISSN: 2502-5325 has been Accredited by Ristekdikti (Arjuna) Decree: No. 23/E/KPT/2019 August 8th, 2019 effective until 2023

lebar 2 m, serta masih menggunakan plastik *poly-etilen* (PE) sebagai penutup transparannya. Kelemahan alat ini adalah ukuran lebarnya 2 m menyebabkan alat harus dibuka pada kedua sisinya untuk penanganan produk dan penutup transparan plastik PE yang digunakan mempunyai umur pakai yang singkat. Sistem bukaan alat di 2 sisi sepanjang ruang pengering selama penanganan produk diduga menjadi sumber kehilangan panas yang besar selama proses pengeringan.

Mempelajari kelemahan ini, maka dilakukanlah upaya modifikasi desain alat pengering terowongan tipe Hohenheim dengan panjang 2 m dan lebar 1 m (Khathir *et al.*, 2020). Alat ini menggunakan penutup transparan berbahan *polycarbonate sheet*, 2 unit kipas inlet dan 1 unit kipas outlet, serta sistem bukaan 1 arah. Untuk menyempurnakan alat pengering ini, sebuah desain bongkar pasang dengan panjang 1,5 m dibuat. Alat ini yang dirancang sepanjang 6 m sudah diuji untuk pengeringan kopi gayo (Hardi *et al.*, 2019).

Kajian lainnya terhadap pengering terowongan energi matahari memang menunjukkan bahwa suhu sistem berkisar antara 28-70°C (Subbian *et al.*, 2021), 25-49,7°C (Getahun *et al.*, 2021), 44-66°C (Rabha *et al.*, 2017), 33-46°C (Morad *et al.*, 2017), 35-75°C (Srisittipokakun *et al.*, 2012), 36,1-60,1°C (Mewa *et al.*, 2019). Suhu yang melebihi 60°C adalah suhu yang perlu dihindari dalam pengeringan produk pangan.

Tujuan penelitian ini adalah menguji modifikasi pengering terowongan tipe Hohenheim Aceh berdimensi panjang 3,5 m, lebar 0,8 m, menggunakan 2 kipas inlet dan 2 kipas outlet, yang sudah dilengkapi dengan pengendali *proportional integral derivative* (PID) untuk kipas outlet. Alasan perancangan PID kontroler untuk alat ini adalah rendahnya suhu pengeringan apabila kipas outlet hidup terus menerus, dan terjadi suhu melebihi 60°C apabila kipas outlet dimatikan

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat

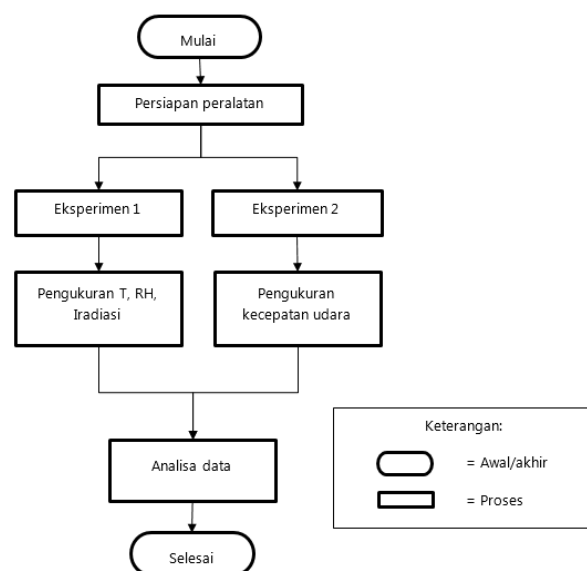
Penelitian dilaksanakan pada bulan April-Juli 2021 bertempat di UKM Meugah Pliiek yang beralamat di Desa Cot Cut, Kecamatan Kuta Baro, Kabupaten Aceh Besar.

Instrumen Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu unit alat pengering matahari tipe *Hohenheim* Aceh, kendali PID, 8 unit HTC-meter, 1 unit anemometer, 1 unit pyranometer RK200-03, serta alat pendukung lainnya.

Prosedur Penelitian

Eksperimen ini dilaksanakan dengan uji kosong alat pengering terowongan tipe Hohenheim Aceh. Kipas inlet dihidupkan sedangkan kipas outlet sudah terhubung dengan pengendali PID sehingga yang perlu dihidupkan adalah pengendali PIDnya. Titik pengamatan adalah 8 titik dengan rincian 4 titik pada loyang pengering, 1 titik di bagian absorber, 1 titik di depan kipas inlet (di dalam ruang absorber), 1 titik di depan kipas outlet (di bagian luar alat), dan 1 titik di lingkungan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pengamatan dilakukan dalam 2 eksperimen di mana eksperimen pertama mengamati iradiasi matahari, suhu dan kelembapan relatif (RH) dalam interval 30 menit di semua titik pengamatan mulai pukul 9.00—17.00 WIB. Sedangkan pada eksperimen kedua diamati distribusi aliran udara pada 8 titik di loyang pengering, di mana pengamatan dilakukan dalam interval 2 menit. Pada eksperimen kedua dilakukan pengamatan dengan 4 skenario yaitu (1) kipas inlet dan kipas outlet hidup, (2) kipas inlet hidup dan kipas outlet mati, (3) kipas inlet mati dan kipas outlet hidup, dan (4) kipas inlet dan outlet dimatikan.

Deskripsi Alat Pengering Terowongan Tipe Hohenheim Aceh

Alat pengering terowongan energi matahari tipe *Hohenheim* Aceh memiliki kolektor matahari, menggunakan prinsip pemanasan efek rumah kaca serta memiliki panel matahari 10 WP. Dimensi alat adalah panjang 3,5 m, lebar 0,8 m dan tinggi 0,8 m. Alat ini dilengkapi dengan empat loyang aluminium berdimensi panjang 0,75 m dan lebar 0,5 m sebagai tempat penjemuran, 4 kipas 12 volt 0,2 A di mana 2 buah kipas dipasang pada posisi inlet dan 2 buah dipasang pada posisi outlet, dilengkapi juga dengan roda sehingga mempermudah proses mobilisasi. Bagian absorber dibuat dari seng gelombang hitam seluas 1,2 m² (Khatir et al., 2021). Alat juga dirancang dengan sistem dapat dibongkar pasang dengan mudah dan cepat. Aliran udara yang digerakkan oleh kipas bersumber energi dari solar panel berfluktuasi seiring perubahan ketersediaan radiasi matahari. Oleh karena itu pada sistem alat pengering ini digunakan *solar charge controller* yang menstabilkan arus dari solar panel, selanjutnya arus ini disimpan ke dalam sebuah baterai. Hal ini berguna untuk menstabilkan kinerja kipas dan memperpanjang umur kipas tersebut. Gambar alat pengering ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengering Terowongan Tipe Hohenheim Aceh dengan Pengendali PID (Ibina, 2021)

Sensor DHT22 berfungsi untuk mengukur suhu dalam ruang pengering, dalam hal ini digunakan 2 unit sensor dan suhu yang diambil adalah suhu rata-rata. Data suhu ini dikirimkan ke mikrokontroler Arduino-nano, di mana hasil perhitungannya merupakan nilai PID yang digunakan untuk control on/off kipas outlet. Untuk tujuan ini, maka nilai PID dikonversikan terlebih dahulu menjadi sinyal *pulse width modulation* (PWM) menggunakan *mosfet gate*. Adapun perangkat lunak dibangun dengan bahasan pemrograman C++. Berdasarkan hasil *tuning* dengan metode Ziegler-Nichols, suhu didalam

ruang pengering diatur pada *setpoint* 55°C (Ibina, 2021). Dengan demikian, kipas outlet akan mati apabila suhu di bawah 55°C dan sebaliknya akan hidup apabila suhu di atas 55°C.

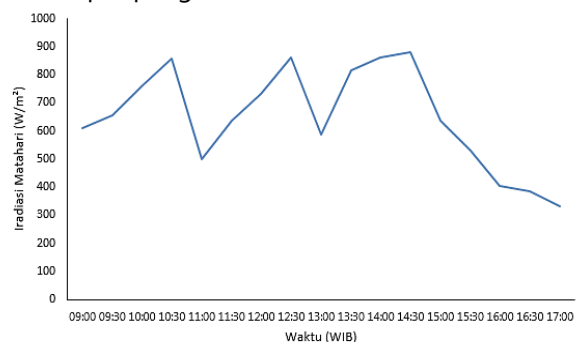
Teknik Analisa Data

Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif, menggunakan parameter statistik deskriptif yang meliputi nilai rata-rata, nilai maksimum, nilai minimum dan standar deviasi. Hasil analisis data tersebut ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketersediaan Iradiasi Matahari Sebagai Sumber Energi Pengering

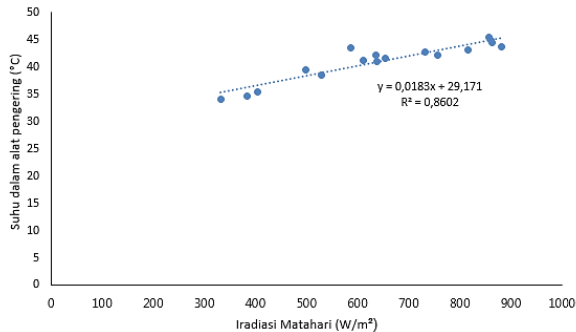
Sumber energi pada alat pengering terowongan tipe Hohenheim Aceh adalah dari radiasi matahari. Ketersediaan iradiasi matahari selama pengamatan dapat dilihat pada Gambar 3. Fluktuasi iradiasi matahari terjadi sepanjang waktu amatan. Rata-rata iradiasi matahari dicapai yaitu sebesar 649 W/m², di mana iradiasi maksimum sebesar 882 W/m² yang terjadi pada pukul 14.30 WIB dan iradiasi minimum diperoleh pada pukul 17.00 WIB yaitu sebesar 332 W/m². Pada penelitian sebelumnya, variasi capaian iradiasi matahari juga telah diidentifikasi, misalnya dengan rata-rata 383,73 W/m² (Ridwan et al., 2017) and 403,2 W/m² (Khatir et al., 2020). Pada lokasi yang berbeda, (Pranoto et al., 2018) mengidentifikasi nilai rata-rata iradiasi matahari sebesar 629 dan 723 W/m². Dengan demikian perbedaan nilai iradiasi matahari capaian sangat dipengaruhi oleh waktu dan tempat pengambilan data.



Gambar 3. Ketersediaan Radiasi Matahari Sebagai Sumber Energi Pengering

Gambar 4 menunjukkan bahwa hubungan iradiasi matahari dengan suhu pengeringan dapat didefinisikan dengan persamaan regresi sederhana yaitu $T = 0,0183(I) + 29,171$, dengan nilai koefisien determinasi (R^2) adalah 86,02%. Hal ini

menunjukkan bahwa pada setiap kenaikan nilai iradiasi matahari sebesar 1 W/m^2 maka akan meningkatkan suhu sebesar $0,0183^\circ\text{C}$, dan hubungan antara suhu pengeringan dengan iradiasi matahari berbentuk positif dan bersifat sangat erat dengan nilai r sebesar $0,92747$.



Gambar 4. Hubungan Suhu Ruang Pengering dan Ketersediaan Radiasi Matahari

Hal ini menjelaskan bahwa seluruh energi yang digunakan oleh alat pengering terowongan energi matahari tipe Hohenheim Aceh berasal dari iradiasi matahari yang diubah menjadi panas melalui 2 mekanisme yaitu solar kolektor dan efek rumah kaca. Tanpa adanya sumber energi lain, persamaan regresi antara suhu dan iradiasi matahari menjelaskan bahwa 84% faktor suhu ditentukan oleh keberadaan iradiasi matahari. Sisanya tentu dipengaruhi oleh faktor lain seperti RH dan aliran udara.

Suhu pada sistem alat pengering terowongan Hohenheim Aceh

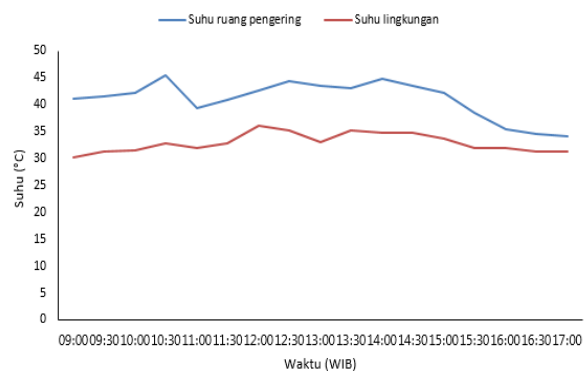
Berdasarkan Tabel 1 dapat dilihat pada bahwa rata-rata suhu ruang loyang pengering (T1) yaitu 43°C , suhu rata-rata ruang loyang pengering (T2) adalah 42°C , suhu rata-rata ruang loyang pengering (T3) yaitu 42°C dan suhu rata-rata ruang loyang pengering (T4) yaitu 41°C . Semakin dekat dengan absorber maka suhu pengeringan semakin tinggi sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya (Mewa *et al.*, 2019). Hal ini dapat dijelaskan sebagai akumulasi panas dari ruang absorber dan efek rumah kaca yang terjadi dalam ruang pengering telah menghasilkan suhu yang dapat digunakan untuk mengeringkan bahan. Ridwan *et al.* (2017) mengamati bahwa suhu rata-rata dalam ruang pengering berada dalam kisaran $42-50^\circ\text{C}$, sedangkan Khathir *et al.* (2020) mengamati bahwa suhu rata-rata dalam ruang pengering adalah $46-51^\circ\text{C}$. Hal dipengaruhi oleh perbedaan iradiasi matahari sekaligus perbedaan dimensi alat

pengering yang diuji. Sementara pada penelitian di dataran tinggi Gayo, suhu rata-rata dalam ruang pengering adalah $31-35^\circ\text{C}$, di mana suhu lingkungannya adalah 23°C (Hardi *et al.*, 2019).

Tabel 1. Parameter statistik deskriptif suhu ($^\circ\text{C}$) pada alat pengering terowongan energi matahari tipe Hohenheim Aceh dengan pengendali PID

Parameter Statistik Deskriptif	Loyang Pengering 1, T1 ($^\circ\text{C}$)	Loyang Pengering 2, T2 ($^\circ\text{C}$)	Loyang Pengering 3, T3 ($^\circ\text{C}$)	Loyang Pengering 4, T4 ($^\circ\text{C}$)	Ruang Absorber, T5 ($^\circ\text{C}$)
Rata-rata	43	42	42	41	36
Nilai maksimum	50,4	46,1	46	46,6	40,5
Nilai minimum	34,6	34,3	34,1	34,4	32,3
Standar deviasi	4,3	3,7	3,6	3,8	2,1

Suhu rata-rata pada ruang absorber alat pengering adalah 36°C . Seharusnya suhu ruang absorber lebih tinggi daripada suhu ruang pengering. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh posisi pengambilan data yang berada dalam area aliran udara kipas inlet. Standar deviasi dalam ruang pengering pada loyang pengering T1 adalah $4,3^\circ\text{C}$ pada loyang pengering T2 adalah $3,7^\circ\text{C}$ pada loyang pengering T3 adalah $3,6^\circ\text{C}$ pada loyang pengering T4 yaitu $3,8^\circ\text{C}$ dan pada ruang absorber standar deviasinya yaitu $2,1^\circ\text{C}$. Semakin tinggi suhu semakin tinggi standar deviasi, namun deviasi suhu dalam ruang absorber adalah yang paling rendah menunjukkan bahwa suhu pada ruang absorber lebih stabil dibandingkan suhu dalam ruang pengering, di mana hal ini dapat disebabkan oleh fungsi absorber sebagai penyerap panas yang menangkap radiasi dengan emisifitas mendekati nilai 1 dan juga karena lebih rendahnya suhu teramat.



Gambar 5. Perbandingan suhu ruang pengering terowongan tipe Hohenheim Aceh dnegan pengendali PID dan lingkungan

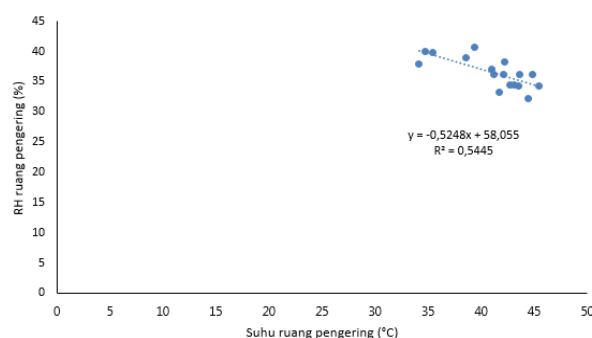
Berdasarkan Gambar 5, suhu pengeringan tertinggi di lingkungan yaitu 36°C terjadi pada pukul 12.00 WIB sedangkan ruang pengering tertinggi yaitu sebesar 45,1°C terjadi pada pukul 10.30 WIB. Suhu rata-rata di dalam ruang pengering yaitu 40,6°C sedangkan rata-rata suhu di lingkungan yaitu 32,9°C. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi di dalam ruang pengering sangat memenuhi syarat pengeringan dengan kondisi suhu yang lebih tinggi di ruang pengering dibandingkan dengan suhu lingkungan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa alat pengering terowongan Hohenheim dapat menghasilkan suhu yang lebih tinggi dari suhu penjemuran sebesar 12°C. Dari hasil penelitian Khatir et al. (2020), suhu pengeringan rata-rata dalam ruang pengering terowongan tipe Hohenheim adalah 39,77°C, dengan standar deviasi sebesar 4,42°C. Sedangkan suhu rata-rata di lingkungan alat pengering adalah 31,63°C, dengan standar deviasi 1,3°C.

Dengan demikian rata-rata suhu pengeringan di ruang alat pengering dan lingkungan pada penelitian ini lebih tinggi dari pada penelitian sebelumnya, namun demikian terdapat kondisi yang sama bahwa suhu di dalam alat pengering lebih tinggi dibandingkan dengan suhu di lingkungannya. Pengujian alat pengering terowongan Hohenheim di Isiolo county, Kenya juga menunjukkan hasil yang sama (Mewa et al., 2019). Sehubungan suhu pengeringan yang diperoleh tidak melebihi *setpoint* 55°C, maka sepanjang proses pengamatan kipas outlet berada dalam keadaan *off*. Dengan demikian diperoleh penghematan penggunaan energi listrik dan perolehan suhu ruang pengering yang potensial untuk pengeringan produk pangan segar maupun olahan.

Kelembapan relatif pada sistem alat pengering terowongan Hohenheim Aceh

Berdasarkan Gambar 6, hubungan suhu dan kelembapan relatif pada ruang pengering dapat didefinisikan dengan persamaan regresi sederhana yaitu $RH = -0,5248(T) + 58,055$. Nilai determinasi (R^2) adalah 54,45%, menjelaskan bahwa hanya 55% faktor RH dapat dijelaskan oleh faktor suhu. Setiap kenaikan suhu 1°C maka akan menurunkan RH sebanyak 0,5248%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu pengeringan maka kelembapan relatif akan semakin rendah. Hubungan negatif ini mendukung proses

pengeringan yang mana membutuhkan suhu yang tinggi dan sebaliknya membutuhkan RH yang rendah. Adapun nilai r hubungan suhu dan RH adalah 0,7379, sehingga dapat dikatakan bahwa hubungan antara kedua faktor pengeringan ini adalah kuat dan berbentuk negatif, di mana kenaikan suhu akan menurunkan RH. Namun demikian pada penelitian sebelumnya dengan dimensi alat pengering terowongan Hohenheim 6x2m², nilai RH dapat diturunkan antara 1,3-1,9% per kenaikan suhu sebesar 1°C (Khatir et al., 2020). Perbedaan ini dapat disebabkan oleh perbedaan dimensi alat pengering dan terjadinya fluktuasi iradiasi matahari.



Gambar 6. Hubungan suhu dan RH pada sistem pengering terowongan tipe Hohenheim Aceh dengan pengendali PID

Aliran pada sistem alat pengering terowongan Hohenheim Aceh

Tabel 2. Aliran udara dalam sistem pengering terowongan Hohenheim Aceh

Parameter Statistik Deskriptif	Ruang Absorber (m/s)	Kipas Inlet (m/s)	Kipas Outlet (m/s)	Lingkungan (m/s)
Skenario 1				
Rata-rata	0,3	2,2	1,9	1,9
Nilai maksimum	0,9	2,6	2,4	2,9
Nilai minimum	0	1,8	1	0,9
Standar deviasi	0,3	0,2	0,4	0,6
Skenario 2				
Rata-rata	0,09	2,4	off	2,5
Nilai maksimum	0,3	3	off	4,2
Nilai minimum	0	1,6	off	1,7
Standar deviasi	0,1	0,4	off	0,8
Skenario 3				
Rata-rata	-	off	1,9	2,9
Nilai maksimum	-	off	2,6	5,7
Nilai minimum	-	off	1,1	1,5
Standar deviasi	-	off	0,5	1,2
Skenario 4				
Rata-rata	-	off	off	1,6
Nilai maksimum	-	off	off	3,1
Nilai minimum	-	off	off	0,9
Standar deviasi	-	off	off	0,6

Syarat sebuah sistem pengering udara adalah adanya aliran udara yang berfungsi sebagai media pengering. Udara panas yang dialirkan akan menghantarkan panas sekaligus mengambil uap air dari bahan untuk selanjutnya dibawa keluar dari sistem melalui kipas outlet. Berdasarkan hasil

pengamatan, kecepatan aliran udara hanya dapat diukur pada 3 titik yaitu di depan aliran kipas inlet, di ruang absorber dan di depan aliran kipas outlet, dan di lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa aliran udara pada titik amatan lain perlu ditingkatkan.

Keempat skenario on/off kipas yang diuji dapat dikatakan tidak memengaruhi pola aliran udara dalam ruang pengering. Pada skenario 1, aliran udara paling rendah adalah di ruang absorber, dengan nilai rata-rata 0,3 m/s dan standar deviasi yang cukup tinggi setara dengan nilai rata-ratanya tersebut. Aliran udara tertinggi diperoleh pada kipas inlet dengan nilai rata-rata 2,2 m/s dan standar deviasi sebesar 0,2 m/s. Menurut spesifikasi kipas yang digunakan aliran udara kipas adalah 2 m/s, namun aliran udara kipas inlet diperoleh lebih tinggi yang dimungkinkan terjadi karena adanya tambahan aliran udara alamiah. Sedangkan aliran udara di kipas outlet diperoleh sebesar $1,9 \pm 0,4$ m/s. Nilai ini mendekati nilai spesifikasi kipas, penyimpangan nilai kecepatan aliran udara dapat diakibatkan oleh pengaruh aliran udara di lingkungan. Apabila arah angin di lingkungan berlawanan dengan arah aliran kipas, maka akan terjadi penurunan kecepatan kipas, sebaliknya apabila arah aliran angin searah dengan aliran kipas maka akan memperbesar aliran udara kipas tersebut. Adapun kecepatan aliran udara di lingkungan diperoleh sebesar $1,9 \pm 0,6$ m/s. Fluktuasi aliran udara lingkungan adalah paling besar karena dipengaruhi oleh iklim makro, sementara aliran udara dalam alat pengering lebih stabil karena sistemnya tertutup.

Pada skenario 2, aliran udara paling rendah diperoleh pada ruang absorber dengan nilai rata-rata 0,09 m/s dan standar deviasi 0,1 m/s. Hal ini berbeda dengan hasil pengukuran skenario 1, di mana penyimpangannya dapat disebabkan oleh perbedaan titik pengukuran. Adapun aliran udara di kipas inlet mempunyai nilai rata-rata 2,4 m/s di mana nilai ini lebih besar dari kecepatan aliran udara kipas inlet pada skenario 1. Dengan demikian dapat dijelaskan bahwa selama pengamatan aliran udara pada skenario 2 terjadi percepatan aliran udara kipas akibat adanya aliran angin di lingkungan yang searah dengan aliran udara kipas inlet. Hal ini dapat juga dibuktikan dengan tingginya aliran udara di lingkungan yang mencapai 2,5 m/s.

Pada skenario 3, aliran udara di kipas outlet adalah sebesar $1,9 \pm 0,5$ m/s, sementara di lingkungan nilainya mencapai $2,9 \pm 1,5$ m/s. Kondisi kipas inlet yang dimatikan menyebabkan aliran udara tidak terdeteksi di ruang absorber. Hal ini berbeda dengan skenario 1 dan 2, sehingga dapat dikatakan bahwa aliran udara di absorber adalah disebabkan oleh aliran udara dari kipas inlet. Dengan demikian salah satu cara untuk meningkatkan aliran udara adalah dengan menambah kipas pada jarak 1m dari kipas inlet. Sedangkan pada skenario 4, kipas inlet dan outlet dimatikan, maka tidak ada aliran udara yang terdeteksi dalam ruang pengering. Hal ini menunjukkan bahwa keberadaan kipas inlet dan outlet sangat penting dalam disain alat pengering terowongan Hohenheim.

Penelitian sebelumnya pada tipe alat pengering terowongan Hohenheim di Kenya juga melaporkan rendahnya aliran udara pada inlet kolektor sebesar 0,02-0,18 m/s (Mewa *et al.*, 2019). Laju aliran udara panas 1 m/s menghasilkan efisiensi pengeringan sebesar 44%, dan peningkatan laju aliran udara panas menjadi 2 dan 4 m/s meningkatkan efisiensi pengeringan menjadi 58% (Sekhar *et al.*, 2021). Kelancaran aliran udara sangat penting untuk mempercepat proses pengeringan bahan. Oleh karena itu perlu rekayasa selanjutnya agar aliran udara dalam alat pengering terowongan Hohenheim Aceh mencapai 2-4 m/s.

KESIMPULAN

Kondisi dalam ruang pengering terowongan Hohenheim Aceh sangat memenuhi syarat pengeringan yaitu dengan kondisi suhu ruang pengering lebih tinggi dari suhu lingkungan dan RH ruang pengering yang lebih rendah daripada RH lingkungan. Perbedaan suhu di 4 loyang pengering adalah sebesar 1°C menunjukkan bahwa suhu pengeringan sudah cukup seragam. Namun demikian, aliran udara dalam ruang pengering masih sangat rendah sehingga diperlukan manipulasi sistem untuk dapat meningkatkan laju aliran udara pada penelitian lanjutan. Namun demikian, kinerja alat pengering menjadi efektif dengan adanya pengendali PID, di mana sistem operasi kipas outlet dapat diotomatisasi pada saat diperlukan saja. Perlu penelitian lanjutan untuk otomatisasi kipas inlet yang dapat dihubungkan dengan kenaikan RH Ketika hujan terjadi supaya

kinerja alat pengering terowongan Hohenheim Aceh menjadi lebih optimal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Universitas Syiah Kuala atas Hibah Penelitian Unggulan Universitas No Kontrak 88/UN11.2.1/PT.01.03/PNBP/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- Getahun, E., Gabbiye, N., Delele, M. A., Fanta, S. W., & Vanierschot, M. (2021). Two-stage solar tunnel chili drying: Drying characteristics, performance, product quality, and carbon footprint analysis. *Solar Energy*, 230(October), 73–90.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.10.016>
- Green, M. G., & Schwarz, D. (2001). *Solar drying equipment - notes on three driers* (Vol. 49, pp. 1–5). Infogate GTZ.
- Hanif, A. (2018). *Karakteristik Pengeringan Kunyit (Curcuma domestica Val) Menggunakan Alat Pengering Tipe Hohenheim*. Skripsi. Program Studi Teknik Pertanian. Universitas Syiah Kuala.
- Hardi, A., Ichwana, & Khathir, R. (2019). Kajian pengering kopi gayo semi basah menggunakan alat pengering tipe Hohenheim. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 4(November), 353–361.
<http://jim.unsyiah.ac.id/JFP/article/view/12803>
- Ibina, A. R. P. (2021). *Rancang bangun pengendali suhu pada alat pengering terowongan Hohenheim menggunakan pengendali proportional integral derivative*. Universitas Syiah Kuala.
- Khathir, R., Agustina, R., Putra, B. S., & Rahmadi, R. (2020). The Quality of Elephant Ginger Dried by Using Modified Hohenheim Dryer under Tropical Climate. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 012003.
- Khathir, R., Agustina, R., & Ratna. (2015). Karakteristik alat pengering tipe Hohenheim pada pengeringan Pliék-U. *Seminar Nasional Hasil Riset Dan Standardisasi Industri V*, 309–313.
<http://baristandaceh.kemenperin.go.id/userfiles/Abstrak 2015.pdf>
- Khathir, R., Hartuti, S., & Yunita. (2021). Adaptasi teknologi pengering terowongan Hohenheim Aceh energi matahari pada UKM produsen Pliék U di Aceh Besar. *Bulletin Pengabdian Universitas Syiah Kuala*, 1(3), 90–95.
- Khathir, R., Sari, E. P., & Agustina, R. (2020). Performansi Alat Pengering Terowongan Tenaga Surya Tipe Hohenheim untuk Pengeringan Kerupuk Tiram The Performance of Type Hohenheim Solar Tunnel Dryer in Drying Oyster Kerupuk. *AgriTECH*, 40(4), 263–269.
<https://jurnal.ugm.ac.id/agritech/article/view/52889>
- Mentari, B., Nurba, D., & Khathir, R. (2017). Karakteristik Pengeringan Jahe Merah (Zingiber officinale Var Rubrum Rhizome) Dengan Metode Penjemuran Dan Menggunakan Alat Pengering Tipe Hohenheim. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 2(2), 439–448.
- Mewa, E. A., Okoth, M. W., Kunyanga, C. N., & Rugiri, M. N. (2019). Experimental evaluation of beef drying kinetics in a solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, 139, 235–241.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.02.067>
- Morad, M. M., El-Shazly, M. A., Wasfy, K. I., & El-Maghawry, H. A. M. (2017). Thermal analysis and performance evaluation of a solar tunnel greenhouse dryer for drying peppermint plants. *Renewable Energy*, 101, 992–1004.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.09.042>
- Pranoto, B., Kusriadi, E., Cendrawati, D. G., & Hesty, N. W. (2018). Evaluasi pemetaan potensi energi surya berbasis model WRF Di Desa Palihan Dan Desa Aikangkung. *Jurnal Sains Dirgantara*, 15(2), 63–72.
<https://doi.org/10.30536/j.jdsd.2018.v15.a2521>
- Rabha, D. K., Muthukumar, P., & Somayaji, C. (2017). Experimental investigation of thin layer drying kinetics of ghost chilli pepper (Capsicum Chinense Jacq.) dried in a forced convection solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, 105, 583–589.
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.12.091>
- Ridwan, Munawar, A. A., & Khathir, R. (2017). Peningkatan Kualitas Cabai Merah Kering Dengan Perlakuan Blanching Dalam Natrium Metabisulfit. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 2(2), 171–182.
<http://jim.unsyiah.ac.id/JFP/article/view/2977>
- Sekhar, Y. R., Pandey, A. K., Mahbulul, I. M.,

- Avinash, G. R. S., Venkat, V., & Pochont, N. R. (2021). Experimental study on drying kinetics for Zingiber Officinale using solar tunnel dryer with thermal energy storage. *Solar Energy*, 229(December 2020), 174–186. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.08.011>
- Srisittipokakun, N., Kirdsiri, K., & Kaewkhao, J. (2012). Solar drying of Andrographis paniculata using a parabolicshaped solar tunnel dryer. *Procedia Engineering*, 32, 839–846. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.02.021>
- Subbian, V., Kumar, S. S., Chaithanya, K., Arul, S. J., Kaliyaperumal, G., & Adam, K. M. (2021). Optimization of solar tunnel dryer for mango slice using response surface methodology. *Materials Today: Proceedings*, 46, 7844–7847. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.382>