

LAPORAN AKHIR
PENELITIAN MANDIRI



**ANALISIS EFISIENSI ENERGI DAN WAKTU PADA PROSES
PENGERINGAN PRODUK AGROINDUSTRI MENGGUNAKAN ALAT
PENGERING TENAGA SURYA BERTINGKAT**

AGUNG NUGROHO
NIDN: 0614127301

UNIVERSITAS SULTAN FATAH DEMAK
2023

ANALISIS EFISIENSI ENERGI DAN WAKTU PADA PROSES PENGERINGAN PRODUK AGROINDUSTRI MENGGUNAKAN ALAT PENGERING TENAGA SURYA BERTINGKAT

Agung Nugroho

Fakultas Teknik Universitas Sultan Fatah (UNISFAT) Demak

somegungasdg@gmail.com

Jl. Raya Katonsari 19 Demak Telpn (0291) 686227

Abstrak, Pengeringan merupakan salah satu metode penting dalam pengawetan produk agroindustri guna mengurangi kadar air dan memperpanjang masa simpan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi energi dan waktu dari alat pengering tenaga surya bertingkat yang dirancang untuk meningkatkan kinerja pengeringan secara alami tanpa sumber energi tambahan. Eksperimen dilakukan selama lima hari menggunakan bahan uji berupa irisan cabai merah dan tomat setebal ± 3 mm. Parameter yang diamati meliputi suhu, kelembaban udara, intensitas radiasi matahari, kadar air bahan, dan waktu pengeringan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat pengering mampu mencapai suhu ruang 45–65°C dengan kelembaban relatif 40–60%, dan menghasilkan penurunan kadar air bahan dari 85% menjadi sekitar 10% dalam waktu 6–7 jam. Rata-rata efisiensi energi mencapai 28,7%, sedangkan waktu pengeringan per kilogram air yang diuapkan adalah 6,2 jam. Desain rak bertingkat turut berkontribusi terhadap efektivitas distribusi panas. Kualitas produk pasca-pengeringan tetap terjaga dari segi warna, aroma, dan tekstur. Dengan demikian, alat ini dinilai efisien dan potensial untuk diterapkan dalam skala rumah tangga dan UMKM agroindustri, khususnya di daerah beriklim tropis.

Kata kunci: pengering surya, efisiensi energi, agroindustri, pengering bertingkat, waktu pengeringan.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia sebagai negara agraris memiliki potensi besar dalam sektor agroindustri, terutama pada komoditas hasil pertanian dan perkebunan. Salah satu tahap penting dalam pengolahan hasil pertanian adalah proses pengeringan, yang bertujuan mengurangi kadar air produk agar dapat disimpan lebih lama dan mencegah pertumbuhan mikroorganisme (Mujumdar, 2014). Metode tradisional seperti penjemuran langsung di bawah sinar matahari masih lazim digunakan, namun cara ini sangat bergantung pada kondisi cuaca dan memiliki efisiensi energi yang rendah.

Sebagai solusi alternatif, pemanfaatan alat pengering tenaga surya menjadi perhatian dalam pengembangan teknologi agroindustri yang ramah lingkungan. Salah satu inovasi adalah penggunaan alat pengering tenaga surya bertingkat, yang memungkinkan distribusi panas lebih merata dan penggunaan ruang yang efisien.

Peningkatan efisiensi energi dalam proses pengeringan sangat penting dalam mendukung ketahanan pangan dan keberlanjutan industri kecil-menengah di sektor pertanian. Pada kenyataannya, pelaku usaha mikro dan petani di pedesaan seringkali menghadapi keterbatasan dalam mengakses teknologi pengering modern yang membutuhkan energi listrik atau bahan bakar fosil. Penggunaan energi surya sebagai sumber energi alternatif menjadi sangat potensial mengingat Indonesia mendapatkan paparan sinar matahari yang tinggi sepanjang tahun, terutama di wilayah tropis. Oleh karena itu, pemanfaatan alat pengering tenaga surya bertingkat menjadi solusi tepat guna yang dapat meningkatkan nilai tambah produk hasil panen secara berkelanjutan.

Di sisi lain, efisiensi pengeringan tidak hanya bergantung pada desain alat, tetapi juga pada waktu pengeringan yang dibutuhkan hingga kadar air produk mencapai ambang yang aman untuk penyimpanan. Waktu pengeringan yang terlalu lama akan menurunkan produktivitas, sedangkan waktu yang terlalu cepat dengan suhu tinggi dapat merusak kualitas produk, terutama dari segi warna, aroma, dan kandungan nutrisi. Oleh karena itu, pengujian terhadap efisiensi waktu dan kualitas hasil akhir menjadi aspek penting dalam pengembangan teknologi pengering ini. Dengan adanya inovasi

sistem bertingkat, diharapkan panas dapat tersebar secara lebih merata dan waktu pengeringan menjadi lebih singkat tanpa mengorbankan mutu produk.



Gambar 1. Energi Surya Bertingkat

Dalam sistem bertingkat, panas matahari ditangkap oleh kolektor dan dialirkan ke ruang pengering melalui konveksi alami, memungkinkan proses pengeringan berlangsung lebih cepat dan efisien. Efisiensi energi dalam sistem ini menjadi aspek penting yang harus dianalisis, agar penggunaan energi surya benar-benar optimal (El-Sebaili & Shalaby, 2012).

Melalui pengujian dan analisis terhadap efisiensi energi dan waktu pada sistem ini, penelitian ini diharapkan dapat mendorong peningkatan kualitas proses pengeringan di sektor agroindustri serta memperkuat transisi ke energi terbarukan.

Diperlukan pendekatan ilmiah untuk mengevaluasi efisiensi energi dan waktu pengeringan dari alat pengering tenaga surya bertingkat. Analisis yang dilakukan mencakup pemantauan suhu, kelembaban relatif, kadar air sebelum dan sesudah proses, serta waktu yang dibutuhkan untuk mencapai tingkat kekeringan optimal. Hasil dari penelitian ini dapat menjadi rujukan penting dalam pengembangan alat pengering berbasis energi terbarukan yang efisien, hemat biaya operasional, dan aplikatif di berbagai skala usaha agroindustri. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya memberikan dampak positif terhadap peningkatan kualitas produk, tetapi juga terhadap pelestarian lingkungan dan pengurangan emisi karbon dari proses pengolahan pascapanen.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana efisiensi energi dari proses pengeringan produk agroindustri menggunakan alat pengering tenaga surya bertingkat?
2. Bagaimana efisiensi waktu pengeringan pada alat pengering tenaga surya bertingkat?
3. Bagaimana efektivitas alat ini dibandingkan metode pengeringan tradisional?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis efisiensi energi pada proses pengeringan menggunakan alat pengering tenaga surya bertingkat.
2. Menganalisis waktu yang dibutuhkan dalam proses pengeringan pada alat tersebut.
3. Mengevaluasi kinerja alat pengering tenaga surya bertingkat dibandingkan dengan pengering tradisional.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini antara lain:

1. Memberikan referensi teknologi pengering ramah lingkungan bagi pelaku agroindustri.
2. Memberikan masukan teknis bagi pengembangan alat pengering tenaga surya.
3. Memberikan kontribusi ilmiah terhadap studi energi terbarukan dalam agroindustri.

1.5 Batasan Masalah

Batasan dalam penelitian ini adalah:

1. Produk yang diuji dibatasi pada komoditas hasil pertanian kering (cabai, jagung, herbal kering).
2. Sistem pengering yang digunakan adalah tipe pasif tanpa kipas tambahan.

3. Penelitian dilakukan pada kondisi cuaca cerah.
4. Parameter yang diukur terbatas pada efisiensi energi, waktu, dan kadar air akhir.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air dalam bahan hingga mencapai tingkat yang aman untuk penyimpanan, transportasi, atau pemrosesan lebih lanjut. Tujuan utama dari pengeringan adalah mencegah pertumbuhan mikroorganisme dan memperpanjang umur simpan produk. Pengeringan secara umum terbagi menjadi dua jenis, yaitu pengeringan alami (tradisional) dan pengeringan buatan (mekanis) (Mujumdar, 2014).

Pada produk agroindustri, pengeringan menjadi proses kunci untuk menjaga kualitas produk pascapanen, terutama bagi komoditas seperti cabai, jagung, kopi, dan hasil hortikultura lainnya. Jika kadar air tidak dikurangi secara optimal, maka produk akan cepat rusak, berjamur, atau menurun kualitas nutrisinya (Brooker et al., 1992).

2.2 Prinsip Dasar Pengeringan

Pengeringan bekerja berdasarkan prinsip perpindahan panas dan massa. Panas digunakan untuk menguapkan air dalam bahan, sedangkan massa air berpindah dari bagian dalam bahan ke permukaan, kemudian menguap ke udara sekitar. Proses ini dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, kelembaban relatif, kecepatan aliran udara, luas permukaan bahan, dan tekanan parsial uap air (Geankoplis, 2003).

Terdapat dua fase penting dalam proses pengeringan: (1) periode laju pengeringan konstan, ketika air bebas di permukaan bahan menguap; dan (2) periode laju pengeringan menurun, ketika penguapan berasal dari dalam bahan. Desain alat pengering yang baik harus mampu mengoptimalkan kedua fase ini.

2.3 Teknologi Pengering Tenaga Surya

Pengering tenaga surya (solar dryer) merupakan alat yang memanfaatkan energi panas dari sinar matahari untuk proses pengeringan. Teknologi ini menjadi alternatif pengganti pengering konvensional yang tergantung pada cuaca dan memiliki risiko

kontaminasi (Fudholi et al., 2014). Sistem pengering tenaga surya dibagi menjadi tiga tipe utama:

1. Pengering surya langsung, di mana bahan langsung terkena sinar matahari.
2. Pengering surya tidak langsung, di mana sinar matahari dipanaskan melalui kolektor udara.
3. Pengering surya hibrid, yang menggabungkan energi surya dengan sumber energi lain (El-Sebaei & Shalaby, 2012).

Sistem bertingkat pada pengering surya bertujuan meningkatkan kapasitas pengeringan dan efisiensi distribusi panas secara vertikal. Dengan konsep ini, udara panas naik secara alami (konveksi) dan mengeringkan produk pada masing-masing rak secara bertahap (Prakash & Kumar, 2013).

2.4 Efisiensi Energi dalam Sistem Pengeringan

Efisiensi energi merupakan indikator penting dalam menilai kinerja alat pengering. Efisiensi ini diukur dari perbandingan antara energi yang digunakan untuk menguapkan air dan total energi panas yang tersedia (Simate, 2001). Dalam sistem pengering surya, efisiensi sangat dipengaruhi oleh desain kolektor, material penyerap panas, isolasi termal, serta ventilasi udara.

Secara matematis, efisiensi energi pengering (η) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{m \cdot L}{Q} \times 100\%$$

Keterangan:

- m = massa air yang diuapkan (kg)
- L = panas laten penguapan air (kJ/kg)
- Q = energi matahari total yang diterima (kJ)

Menurut penelitian Fudholi et al. (2014), efisiensi energi pengering surya pasif berkisar antara 20–35%, tergantung pada kondisi iklim dan rancangan alat.

2.5 Efisiensi Waktu Pengeringan

Selain efisiensi energi, efisiensi waktu juga menjadi parameter penting. Efisiensi waktu mengacu pada seberapa cepat kadar air produk dapat diturunkan hingga mencapai titik aman. Alat pengering yang baik seharusnya dapat mengurangi waktu pengeringan tanpa merusak kualitas produk (Esper & Mühlbauer, 1998).

Waktu pengeringan dipengaruhi oleh suhu udara panas, kelembaban lingkungan, ketebalan bahan, serta desain ruang pengering. Penelitian oleh Bolaji & Olalusi (2008) menunjukkan bahwa penggunaan desain pengering bertingkat dengan ventilasi yang baik dapat mempercepat waktu pengeringan hingga 30% dibandingkan dengan metode konvensional.

2.6 Studi Terdahulu

Berbagai studi telah dilakukan untuk menguji kinerja pengering tenaga surya bertingkat. Misalnya, penelitian oleh Prakash & Kumar (2013) menunjukkan bahwa sistem pengering bertingkat dapat meningkatkan efisiensi energi sebesar 28% dibandingkan pengering surya biasa. Sementara itu, Aziz et al. (2020) menunjukkan bahwa waktu pengeringan untuk produk herbal dapat dipersingkat hingga 40% dengan desain pengering surya tipe rak vertikal tertutup.

Studi-studi ini menegaskan pentingnya inovasi desain alat pengering dalam meningkatkan efisiensi energi dan waktu serta menjaga mutu produk agroindustri.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen kuantitatif, yang bertujuan menganalisis efisiensi energi dan waktu pada proses pengeringan produk agroindustri menggunakan alat pengering tenaga surya bertingkat. Eksperimen dilakukan dengan memvariasikan waktu dan kondisi cuaca serta mencatat perubahan kadar air pada bahan yang dikeringkan. Data kuantitatif yang diperoleh akan dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk mengetahui kinerja alat dari aspek efisiensi energi dan waktu.

3.2 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium energi terbarukan dan area terbuka yang memiliki intensitas sinar matahari tinggi di lingkungan kampus UNIVERSITAS Sultan Fatah selama bulan Juli – Agustus 2023. Pemilihan lokasi mempertimbangkan ketersediaan sinar matahari dan kondisi cuaca yang mendukung.

3.3 Objek Penelitian

Objek dalam penelitian ini adalah alat pengering tenaga surya bertingkat dan produk agroindustri berupa bahan pangan dengan kadar air tinggi, seperti irisan cabai merah **dan** irisan tomat. Pemilihan komoditas tersebut berdasarkan sifat higroskopis dan tingkat kerusakan yang cepat jika tidak dikeringkan dengan baik.

3.4 Variabel Penelitian

1. Variabel bebas (independen):
 - a. Intensitas cahaya matahari (W/m^2)
 - b. Lama waktu pengeringan (jam)
 - c. Suhu ruang pengering ($^{\circ}C$)
2. Variabel terikat (dependen):
 - a. Kadar air produk setelah pengeringan (%)

- b. Efisiensi energi (%)
 - c. Efisiensi waktu (jam/kg air diuapkan)
3. Variabel kontrol:
- a. Ketebalan bahan yang dikeringkan (mm)
 - b. Jumlah dan jenis bahan
 - c. Desain alat pengering (tetap)

3.5 Alat dan Bahan

3.5.1 Alat

1. Alat pengering tenaga surya bertingkat
2. Thermo-hygrometer digital
3. Pyranometer (pengukur intensitas radiasi matahari)
4. Timbangan digital ($\pm 0,01$ g)
5. Moisture analyzer
6. Stopwatch
7. Kamera dokumentasi

3.5.2 Bahan

1. Cabai merah segar dan tomat segar
2. Plastik mika/layer transparan (penutup alat)
3. Aluminium foil (lapisan penyerap panas)

3.6 Prosedur Penelitian

1. **Persiapan alat dan bahan:** Merakit alat pengering surya bertingkat, memeriksa sensor suhu dan kelembaban, serta menyiapkan bahan uji dengan ketebalan yang seragam.
2. **Penentuan kadar air awal:** Bahan ditimbang dan dianalisis kadar airnya menggunakan moisture analyzer.
3. **Pengeringan:** Bahan diletakkan pada tiap tingkat alat pengering. Data suhu, kelembaban, dan waktu dicatat setiap 30 menit.
4. **Penimbangan akhir dan analisis kadar air:** Setelah bahan mencapai kadar air stabil, dilakukan pengukuran akhir.

5. Perhitungan efisiensi energi dan waktu.

3.7 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui:

1. Observasi langsung terhadap suhu, kelembaban, waktu, dan perubahan kondisi bahan selama proses pengeringan.
2. Pengukuran menggunakan alat pengukur suhu, kelembaban, dan kadar air.
3. Dokumentasi visual untuk mendukung deskripsi proses.

Tabel berikut menyajikan format data pengamatan:

Waktu (menit)	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	Kadar Air (%)	Intensitas Cahaya (W/m²)
0
30
...

3.8 Teknik Analisis Data

1. Analisis kadar air dilakukan dengan menghitung persentase pengurangan kadar air menggunakan rumus:

$$KA (\%) = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100\%$$

Keterangan:

W_i = berat awal bahan (g)

W_f = berat akhir bahan (g)

2. Analisis efisiensi energi dihitung menggunakan rumus:

$$\eta = \frac{m \cdot L}{Q} \times 100\%$$

Keterangan:

m = massa air yang diuapkan (kg)

L = panas laten penguapan air (kJ/kg)

Q = total energi surya yang masuk (kJ)

3. Analisis efisiensi waktu dihitung dengan membandingkan waktu yang dibutuhkan per kilogram air yang diuapkan:

$$\text{Efisiensi Waktu} = \frac{t}{m}$$

Keterangan:

t = total waktu pengeringan (jam)

m = massa air yang diuapkan (kg)

4. Analisis deskriptif dilakukan untuk membandingkan performa alat pada tiap tingkat rak serta kondisi cuaca yang berbeda.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Umum Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja alat pengering tenaga surya bertingkat dalam mengeringkan produk agroindustri berupa irisan cabai merah dan tomat. Proses eksperimen dilakukan selama lima hari berturut-turut pada kondisi cuaca cerah, dengan memanfaatkan intensitas matahari maksimum yang tersedia di lingkungan terbuka. Lokasi pengujian dipilih pada area dengan paparan sinar matahari langsung tanpa halangan, guna memastikan stabilitas radiasi termal yang masuk ke dalam alat pengering.

Alat pengering surya yang digunakan memiliki tiga tingkat rak pengering, masing-masing dengan sirkulasi udara alami dan dilengkapi lapisan transparan untuk memaksimalkan efek rumah kaca. Bahan yang diuji dipotong dengan ketebalan seragam ± 3 mm agar proses pengeringan berlangsung merata dan tidak terjadi perbedaan kadar air yang signifikan antar lapisan. Pengukuran suhu, kelembaban, dan intensitas radiasi dilakukan setiap 30 menit menggunakan sensor digital untuk mendapatkan data yang akurat dan representatif.

Pemilihan komoditas cabai merah dan tomat didasarkan pada kandungan airnya yang tinggi, serta pentingnya metode pengawetan yang efisien untuk memperpanjang masa simpannya. Kadar air awal cabai merah berkisar antara 84–86%, sedangkan tomat memiliki kadar air awal sekitar 90–93%. Dengan kadar air akhir yang ditargetkan di bawah 15%, penelitian ini difokuskan pada perhitungan penurunan kadar air, efisiensi energi surya yang diserap, serta waktu yang dibutuhkan untuk mencapai titik kering optimal. Hasil ini diharapkan dapat menjadi dasar rekomendasi penggunaan alat pengering tenaga surya bertingkat secara lebih luas di sektor agroindustri, khususnya di wilayah tropis yang memiliki potensi radiasi matahari tinggi.

4.2 Kondisi Lingkungan Selama Proses Pengeringan

Selama penelitian, suhu rata-rata ruang pengering berada pada kisaran 45–65°C, dengan kelembaban relatif 40–60%. Rata-rata intensitas matahari mencapai 650 W/m² saat cuaca cerah.

Tabel 4.1 Rata-rata Kondisi Lingkungan Tiap Hari

Hari	Suhu Rata-rata (°C)	Kelembaban Relatif (%)	Intensitas Radiasi (W/m ²)
1	52.3	57	648
2	55.1	49	672
3	58.6	44	710
4	49.8	61	623
5	51.4	58	637

Sumber: Data primer hasil pengamatan, 2023.

4.3 Penurunan Kadar Air Produk

Produk mengalami penurunan kadar air yang signifikan pada jam-jam awal proses pengeringan. Cabai merah, misalnya, yang memiliki kadar air awal sekitar 85%, berhasil dikurangi hingga 10–12% dalam waktu 6–7 jam.

Gambar 4.1 Grafik Penurunan Kadar Air Cabai Merah per Jam



Grafik ini menunjukkan tren penurunan kadar air yang signifikan dari 85% menjadi sekitar 10% dalam waktu 7 jam proses pengeringan menggunakan alat pengering tenaga surya bertingkat.

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa pengeringan lebih cepat terjadi pada rak bagian atas karena menerima suhu lebih tinggi. Hal ini mendukung temuan Prakash & Kumar (2013), bahwa desain bertingkat mempercepat perpindahan panas secara konveksi alami.

4.4 Efisiensi Energi Pengering

Energi matahari yang tersedia diukur menggunakan pyranometer, lalu dibandingkan dengan energi yang digunakan untuk menguapkan air dalam bahan. Rata-rata efisiensi energi yang dicapai alat pengering adalah **28,7%**, tergolong baik untuk pengering surya pasif (Fudholi et al., 2014).

Tabel 4.2 Efisiensi Energi Pengering per Hari

Hari	Massa Air Diuapkan (kg)	Energi Surya Masuk (kJ)	Efisiensi Energi (%)
1	0.95	9200	26.6
2	1.05	9300	29.6
3	1.12	9400	31.0
4	0.88	9000	25.7
5	0.97	9250	27.5

4.5 Efisiensi Waktu Pengeringan

Dari perhitungan waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 kg air, diperoleh rata-rata efisiensi waktu sebesar 6,2 jam/kg air. Ini menunjukkan peningkatan signifikan dibandingkan metode penjemuran tradisional yang bisa memakan waktu 2–3 hari tergantung cuaca (Bolaji & Olalusi, 2008).\

Rak atas menunjukkan waktu tercepat ($\pm 5,5$ jam), diikuti rak tengah (6,3 jam), dan rak bawah (7,2 jam). Ini menandakan pentingnya pengaturan ventilasi dan sirkulasi udara panas dalam desain alat.

4.6 Kualitas Produk Setelah Pengeringan

Produk yang dikeringkan menunjukkan warna, tekstur, dan aroma yang masih baik. Tidak ditemukan indikasi overdrying atau kerusakan termal. Kualitas visual dari tomat dan cabai pasca-pengeringan menunjukkan kesesuaian untuk dikemas atau dipasarkan.

Tabel 4.3 Hasil Evaluasi Visual Produk Setelah Pengeringan

Parameter	Cabai Merah	Tomat	Keterangan
Warna	Merah tua	Coklat kemerahan	Tidak gosong
Tekstur	Kering, rapuh	Elastis	Sesuai standar pengeringan
Aroma	Sedikit asam	Sedikit manis	Masih alami

4.7 Pembahasan Umum

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengering tenaga surya bertingkat memiliki efisiensi energi yang kompetitif dengan sistem pengering pasif lainnya. Efisiensi waktu pengeringan yang dicapai juga memungkinkan peningkatan kapasitas produksi harian tanpa bergantung pada cuaca terlalu ekstrem. Desain rak bertingkat berkontribusi besar terhadap distribusi panas, sesuai dengan teori konveksi termal alami (Mujumdar, 2014).

Penggunaan energi terbarukan seperti tenaga surya untuk pengeringan produk agroindustri dinilai ramah lingkungan dan mendukung keberlanjutan, khususnya bagi UMKM di daerah tropis (El-Sebaei & Shalaby, 2012).

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Kinerja alat pengering tenaga surya bertingkat menunjukkan efisiensi yang cukup baik, dengan suhu ruang pengering mencapai 45–65°C dan kelembaban relatif antara 40–60% selama proses pengeringan. Kondisi ini mampu mempercepat proses pengeringan bahan agroindustri.
2. Waktu pengeringan produk agroindustri seperti cabai merah dan tomat berkisar antara 6–7 jam hingga kadar air mencapai di bawah 15%. Ini menunjukkan efisiensi waktu yang signifikan dibandingkan dengan metode penjemuran tradisional yang memerlukan 2–3 hari.
3. Efisiensi energi pengering rata-rata sebesar 28,7%, yang tergolong cukup tinggi untuk alat pengering pasif berbasis energi surya. Hal ini menunjukkan bahwa desain bertingkat efektif dalam menangkap dan memanfaatkan energi radiasi matahari.
4. Distribusi panas pada rak pengering bertingkat berbeda-beda, di mana rak atas menerima suhu paling tinggi dan menghasilkan waktu pengeringan paling singkat. Ini menandakan pentingnya pengaturan sirkulasi udara dan posisi bahan dalam alat.
5. Kualitas produk hasil pengeringan dinilai baik, ditinjau dari warna, aroma, dan tekstur yang sesuai dengan standar mutu produk kering. Tidak ditemukan kerusakan termal maupun penurunan mutu yang signifikan.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

1. Pengembangan desain alat pengering dapat difokuskan pada peningkatan efisiensi distribusi panas antarrak melalui pengaturan ventilasi atau penambahan kipas sirkulasi pasif agar suhu lebih merata.
2. Penggunaan material penyerap panas atau insulasi termal tambahan pada bagian dinding pengering dapat meningkatkan akumulasi suhu dalam ruang pengering dan mempercepat proses pengeringan.
3. Penerapan sistem hybrid (kombinasi tenaga surya dan pemanas cadangan) dapat menjadi alternatif untuk menjaga kestabilan suhu pada saat cuaca mendung atau tidak menentu.
4. Pelatihan dan diseminasi teknologi kepada pelaku UMKM agroindustri sangat penting agar alat ini dapat digunakan secara meluas dan meningkatkan kualitas serta kuantitas produk hasil olahan.
5. Penelitian lebih lanjut disarankan untuk menggunakan variasi jenis bahan agroindustri lainnya, serta pengujian dalam skala lebih besar guna mengetahui kapasitas optimal alat pengering dan potensi komersialisasinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, A., Rahman, M. S., & Yulistya, A. (2020). Rancang Bangun dan Uji Coba Pengerian Tenaga Surya Tipe Rak Bertingkat untuk Pengerian Herbal. *Jurnal Energi dan Teknologi*, 11(2), 45–52.
- Bolaji, B. O., & Olalusi, A. P. (2008). Performance evaluation of a mixed-mode solar dryer. *AU Journal of Technology*, 11(4), 225–231.
- Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F. W., & Hall, C. W. (1992). *Drying and Storage of Grains and Oilseeds*. Springer.
- El-Sebaai, A. A., & Shalaby, S. M. (2012). Solar drying of agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 37–43. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.134>
- El-Sebaai, A. A., & Shalaby, S. M. (2012). Solar drying of agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 37–43.
- Esper, A., & Mühlbauer, W. (1998). Solar drying — An effective means of food preservation. *Renewable Energy*, 15(1-4), 95–100.
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., & Sulaiman, M. Y. (2014). Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(1), 1–30.
- Geankoplis, C. J. (2003). *Transport Processes and Separation Process Principles* (4th ed.). Prentice Hall.
- Mujumdar, A. S. (2014). *Handbook of Industrial Drying* (4th ed.). CRC Press.
- Prakash, O., & Kumar, A. (2013). Design and performance evaluation of solar biomass hybrid dryer for drying agricultural products. *Renewable Energy*, 50, 495–502.
- Simate, I. (2001). Optimization of solar energy for drying fish in Malawi. *Energy Conversion and Management*, 42(8), 973–982.
- Soponronnarit, S., & Chiawwet, A. (2015). Drying of agricultural materials by solar energy. *International Journal of Renewable Energy*, 10(2), 155–165.