

Rancang Bangun Sistem Pemantauan Suhu dan Analisis Efisiensi Pengeringan Terhadap Biji Kopi

* Catatan: Sub-judul tidak perlu dimasukkan

1st Ryan Yosafat Limbong
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

ryanyosafat@student.telkomuniversity.
ac.id

Muhammad Xavier Ikhwanov
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

xavieriknv@student.telkomuniversity.ac.id

Rico Arkannida
Fakultas Teknik Elektro
Telkom University
Bandung, Indonesia

ricoarkannida@student.telkomuniversity.ac.id

Pengeringan merupakan tahap krusial dalam pengolahan biji kopi karena mempengaruhi mutu fisik, rasa, dan aroma akhir. Di Indonesia, metode tradisional dengan penjemuran sinar matahari masih dominan digunakan, namun sering terkendala cuaca, khususnya pada musim hujan, sehingga memperlambat proses dan menurunkan kualitas hasil panen. Untuk mengatasi kendala tersebut, penelitian ini mengembangkan prototipe mesin pengering biji kopi bertenaga surya dengan ruang pengering tertutup yang dirancang untuk menangkap panas matahari secara maksimal. Panel surya digunakan untuk menggerakkan kipas sirkulasi udara, sehingga distribusi panas lebih merata di seluruh ruang pengering. Sistem ini memungkinkan proses pengeringan berjalan lebih cepat dan stabil, bahkan saat kondisi cuaca kurang mendukung. Hasil uji coba menunjukkan waktu pengeringan lebih singkat dibandingkan metode tradisional, dan efisiensi pengeringan konsisten lebih tinggi yaitu berada di angka yang tertinggi 89,99% dan terendah 41,06% dibanding dengan metode tradisional yang tertinggi 60,64% dan yang terendah 39,11%. Desain tertutup juga meminimalkan kehilangan panas, mengoptimalkan efisiensi energi, dan mengurangi biaya operasional karena memanfaatkan energi terbarukan. Prototipe ini berpotensi dikembangkan menjadi unit berskala lebih besar atau portabel, sehingga menjadi solusi efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan bagi petani kopi di daerah tropis.

kata kunci : Mesin pengering, Panel surya, Biji kopi

I. PENDAHULUAN

semakin hari kian banyak bisnis kedai kopi/*coffee shop* yang hadir pada era kini. Untuk itu dibutuhkan biji kopi yang berkualitas tinggi. Maka dari itu pengering biji kopi diperlukan untuk meningkatkan kualitas dari biji kopi tersebut, pengering merupakan salah satu faktor penting dari pengolahan biji kopi. Dalam hal aspek pengeringan kopi, sangat berpengaruh terhadap kualitas dan mutu biji kopi. Proses pengeringan biji kopi tidak hanya berpengaruh terhadap bentuk fisik biji kopi tersebut, namun juga harus melihat dari tingkat kadar air untuk menciptakan kualitas cita rasa dan aroma dari biji kopi yang telah dikeringkan. Suhu yang tepat juga menjadi aspek penting dalam pengeringan biji kopi.

II. KAJIAN TEORI

A. Metode Pengeringan Tradisional

Beberapa petani masih menerapkan metode pengeringan biji kopi basah dengan cara menjemurnya langsung di bawah sinar matahari. Biasanya, proses ini memerlukan waktu sekitar 5–7 hari hingga kadar air biji kopi mencapai kisaran ideal 18–20%. Setelah dilakukan pengupasan kulit tanduk, pengeringan dilanjutkan secara alami selama 8–10 jam untuk menurunkan kadar air menjadi 11–12%. Namun, pada musim hujan, durasi pengeringan dapat bertambah menjadi 1–2 minggu, yang meningkatkan risiko penurunan kualitas akibat kontaminasi jamur dan timbulnya aroma tidak sedap. Secara umum, alur pengolahan kopi dimulai dari pemetikan buah, diikuti penjemuran awal untuk mengurangi kadar air dan mempermudah pengupasan kulit luar. Setelah itu, biji dicuci untuk menghilangkan lapisan lendir pada kulit tanduk, kemudian dikeringkan kembali, dilakukan pengupasan kulit tanduk, dan diakhiri dengan penjemuran ulang guna memastikan kadar air sesuai standar.

B. Metode Pengeringan Dengan Produk *Solar Dryer*

Sistem ini memanfaatkan pengering tenaga surya yang menggunakan energi matahari sebagai sumber energi utama untuk proses pengeringan. Untuk menunjang kinerja pengeringan yang optimal, sistem dilengkapi dengan panel surya, ruang pengering transparan, kipas angin, serta rak berlubang. Dengan waktu pengeringan yang relatif lebih singkat, teknologi ini dapat menjadi alternatif bagi petani yang masih mengandalkan metode pengeringan tradisional, dengan mempertimbangkan berbagai aspek efisiensi dan kualitas. Kapasitas muatan mencapai 10–15 kg biji kopi, sehingga sesuai digunakan pada skala pertanian kecil hingga menengah. Material yang digunakan antara lain rangka dari baja berongga, penutup dari PVC, dan alas aluminium yang berfungsi untuk menjaga kekuatan struktur sekaligus mendukung efisiensi termal. Prototipe ini juga dilengkapi roda untuk memudahkan pemindahan. Berdasarkan hasil pengujian, panel surya mampu menghasilkan daya yang cukup untuk mengoperasikan kipas, ruang pengering transparan efektif dalam mentransmisikan cahaya matahari dan mempertahankan suhu tinggi, sementara kipas dapat menghasilkan aliran udara yang stabil. Rak berlubang terbukti mampu menahan beban secara maksimal sekaligus

menjaga sirkulasi udara tetap optimal. Selain itu, terdapat sistem penyimpanan energi listrik untuk mendukung operasional, menjadikan pengering ini ramah lingkungan karena sepenuhnya memanfaatkan energi terbarukan. Efisiensi energi dan biaya yang relatif terjangkau menjadi keunggulan utama dari sistem ini.

C. Komponen dan Software pendukung Sistem Pemantauan Suhu dan Kelembaban

a. DHT-22

Pemantauan suhu dan kelembaban merupakan aspek krusial dalam sistem pengeringan karena kedua parameter ini secara langsung mempengaruhi kualitas proses pengeringan dan hasil akhirnya. Penggunaan sensor juga dibuat untuk memenuhi aspek yang dibutuhkan dalam sistem pengering (*Solar dryer*). Sensor DHT-22 yang dipakai sebanyak 2 buah untuk memantau suhu dalam chamber dan luar (lingkungan). Alasan penulis memilih DHT-22 sebagai sensor temperatur. Alasan penulis memilih sensor DHT-22 sebagai perangkat pengontrol dapat dijelaskan:

Akurasi yang tinggi dibanding DHT 11

Sensor ini dapat mengukur suhu pada rentang $-40 - 80^{\circ}\text{C}$ dengan error $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, serta dapat mengukur kelembaban relatif pada rentang $0 - 100\%$ dengan nilai error $\pm 2-5\%$ RH.

Biaya yang terjangkau dan ketersediaan luas

Dibanding sensor industri yang lebih mahal, DHT-22 memberikan performa cukup baik dengan harga yang relatif murah, menjadikannya pilihan ideal untuk sistem monitoring berskala kecil atau kebutuhan tingkat penelitian.

Kemudahan Integrasi dengan mikrokontroler

Sensor ini menggunakan komunikasi digital satu kabel (*single-wire*), sehingga mudah dihubungkan dengan mikrokontroler seperti ESP32, Arduino tanpa membutuhkan rangkaian kompleks.

Konsumsi Daya Yang Rendah

Sensor ini hanya membutuhkan daya kecil untuk beroperasi (sekitar $1.5-2.5\text{ mA}$ saat pengukuran), cocok untuk sistem yang menggunakan sumber daya terbatas seperti aki atau panel surya.



Gambar 1 Module Sensor DHT 22

b. ESP-32/Mikrokontroler

Pemantauan suhu juga membutuhkan mikrokontroler yang dapat berkomunikasi secara online dengan modul Wifi. Monitoring ini berguna untuk mengetahui berapa penurunan atau kenaikan suhu dan kelembaban didalam atau luar sistem pengering. Data suhu dan kelembaban nantinya akan dikirimkan oleh ESP-32 ke *Google Spreadsheets* untuk memantau secara *real-time* kenaikan atau penurunan suhu di

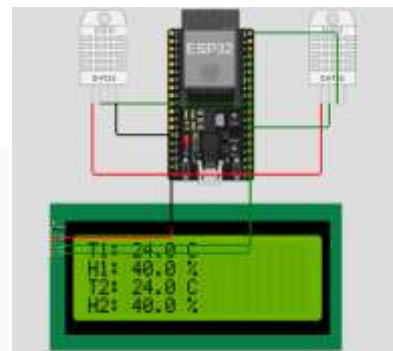
dalam dan diluar sistem pengering atau *solar dryer*. Untuk itu dibutuhkan modifikasi API pada *google spreadsheets*.



Gambar 2. Module ESP-32

c. Google Spreadsheets

ESP32 tidak bisa secara langsung mengirim data ke *Google Sheets* karena *Google Sheets API* butuh autentikasi yang rumit. Oleh karena itu API harus diubah menjadi Web App menggunakan *Google Apps Script*, agar ESP32 dapat mengirim data suhu dan kelembaban. Dalam pengaplikasiannya digunakan juga LCD I2C 20×4 sebagai media monitor pada sistem pengering atau *solar dryer*. Untuk rangkaian skematik, *Source Code*, serta modifikasi API dapat dijelaskan dibawah.



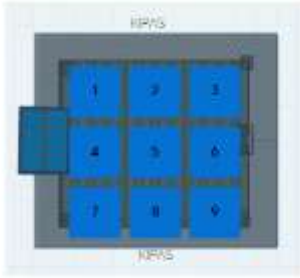
Gambar 3. Wiring Schematic ESP dan DHT-22

III. METODE

Memberikan gambaran rancangan penelitian yang meliputi prosedur atau langkah-langkah penelitian, waktu penelitian, sumber data, cara perolehan data dan menjelaskan metode yang akan digunakan dalam penelitian [10 pts].

A. Proses Pengujian Efisiensi Pengeringan (Tradisional dan *Solar Dryer*)

Pada proses pengujian dengan *solar dryer* dilakukan dengan menempatkan sembilan sampel kain yang berukuran sama $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$, masing-masing kain memiliki massa awal yang sama selama 10 hari melakukan eksperimen. Massa awal merupakan massa kain yang sudah direndam dengan air yang sudah disamakan beratnya dengan timbangan digital. Langkah ini penting untuk menjamin bahwa perbandingan hasil pengeringan dilakukan secara adil dan konsisten. Lalu kain ditempatkan di 9 titik dalam ruang pengering *solar dryer* sebanyak 3 baris dan perbaris memiliki 3 titik peletakan. Posisi kain diatur sedemikian rupa agar tidak saling menutupi, dengan mempertahankan jarak antar kain sehingga sirkulasi udara panas di dalam chamber dapat mengalir dengan merata.



Gambar 4 Posisi Letak 9 Sampel Kain

Kain diletakkan di atas permukaan berongga untuk memungkinkan aliran udara dari bagian bawah dan mencegah terjadinya kelembapan terperangkap. Proses ini juga dibantu oleh kipas sebagai blower yang membantu mengalirkan udara yang membawa air keluar atau kelingkrungan. Kondisi ruang pengering dijaga tetap tertutup agar mempertahankan efek rumah kaca. Begitu juga dengan sampel berikutnya, kopi ditimbang dengan massa awal yang sama di kedua metode eksperimen.

Pengujian selanjutnya kain diukur penurunan massanya dengan interval waktu per 30 menit sampai seluruh kain yang ada dalam *chamber* kering. Pengujian dilakukan pada setiap titik peletakan sampel kain pada *chamber* ruang pengering dan yang menggunakan metode tradisional. Efisiensi juga membutuhkan data iradiasi matahari, pengukuran iradiasi matahari juga dilakukan setiap interval 30 menit yang nantinya perhitungannya dilakukan dengan melakukan pendekatan numerik yaitu dengan metode integral luas daerah. Seluruh prosedur ini diulang selama sepuluh hari berturut-turut dalam kondisi cuaca harian yang bervariasi. Hal ini dilakukan agar diperoleh data yang representatif terhadap performa sistem *solar dryer* dalam berbagai tingkat intensitas radiasi matahari.

Radiasi matahari merupakan energi elektromagnetik yang di pancarkan oleh matahari. Radiasi juga memiliki banyak spektrum yang dipancarkan seperti;

- Ultraviolet *UV* (< 400nm)
- Cahaya Tampak (400-700nm)
- Inframerah (700nm)

Pada kasus ini radiasi matahari berperan sangat penting dalam membantu proses penguapan air pada beberapa sampel yang juga nilainya dipakai untuk menghitung efisiensi energi dan menghitung efisiensi panel surya. Radiasi yang dipancarkan oleh matahari juga berbeda tergantung pada kondisi cuaca yang terjadi pada saat melakukan eksperimen.

Iradiasi adalah laju pancaran energi radiasi yang diterima pada permukaan datar per satuan waktu dan luas (W/m^2). Ada beberapa jenis iradiasi yang akan dijelaskan dibawah.

1. Iradiasi Langsung (*Direct Irradiance*)

Iradiasi langsung adalah sinar matahari yang sampai ke permukaan bumi secara lurus tanpa terhalang atau terhambur oleh partikel di udara. Jenis radiasi ini biasanya hanya muncul saat cuaca benar-benar cerah, tanpa awan ataupun benda lain yang menghalangi sinar matahari. Intensitasnya sangat tergantung pada posisi matahari dan kondisi langit saat itu.

2. Iradiasi Difus

Iradiasi difus adalah cahaya matahari yang sudah tersebar lebih dulu di atmosfer karena bertabrakan dengan partikel seperti debu, uap air, atau molekul udara. Cahaya ini datang dari berbagai arah, bukan hanya dari arah matahari, sehingga tetap bisa dirasakan meskipun matahari sedang tertutup awan tipis. Nilainya pun cenderung lebih stabil sepanjang hari.

3. Iradiasi Total (*Global Horizontal Irradiance*)

Iradiasi total merupakan gabungan dari kedua iradiasi yang sudah disebutkan yaitu iradiasi langsung dan iradiasi difus. Nilai iradiasi ini yang juga merupakan nilai terukur pada solarimeter atau *pyranometer*. Nilai iradiasi ini adalah total keseluruhan energi matahari yang sampai ke permukaan, baik secara langsung maupun yang sudah tersebar lebih dulu. Nilai iradiasi ini juga yang merupakan acuan dalam menghitung efisiensi energi dan efisiensi panel surya.

Umum nya efisiensi dapat diartikan sebagai total energi yang dipakai dibagi dengan total energi yang dihasilkan dan dikalikan dengan 100%. Semakin tinggi nilai efisiensi maka semakin baik juga nilai performa suatu sistem.

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \quad (1)$$

Dalam rumus di atas, untuk menentukan efisiensi yaitu dengan membandingkan antara Q_{in} dengan Q_{out} . Untuk mengetahui parameter apa saja yang ada dalam Q_{in} dan parameter apa saja yang ada didalam Q_{out} akan di elaborasi pada penjelasan berikut.

$$\eta = \frac{muap \cdot L}{\sum I \cdot A \cdot \Delta t} \quad (2)$$

Keterangan:

- η : Efisiensi (%)
- $muap$: Mawal – Makhir (Kg)
- L : Kalor laten penguapan air ($22,6 \times 10^5 \text{ J/kg}$ atau $2,26 \text{ MJ/kg}$)
- $\sum I$: Intensitas radiasi matahari (W/m^2)
- A : Luas kolektor (1 m^2)
- Δt : Waktu per interval (30 menit/1800 detik)

Dalam konteks pengukuran efisiensi sistem pengeringan *solar dryer*, total energi radiasi matahari yang diterima oleh sistem selama periode pengamatan tidak bisa selalu dihitung secara langsung karena data iradiasi diperoleh dalam bentuk per 30 menit. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan numerik untuk menghitung integral dari intensitas iradiasi terhadap waktu

$$Q_{in} = A \times \int_{t^{0th}} I(t) dt \quad (3)$$

$$\int_{t^{0tn}} I(t)dt \approx \left(\frac{\Delta t}{2}\right) \times [I^0 + 2I^1 + 2I^2 + \dots + 2I_n^{-1} + I_n] \quad (4)$$

Secara teoritis, total energi matahari yang ditangkap oleh sistem pengering dapat ditulis dalam bentuk integral diatas. Karena $I(t)$ (intensitas radiasi matahari) tidak tersedia dalam bentuk fungsi kontinu, maka pendekatannya dilakukan dengan metode numerik, yakni:

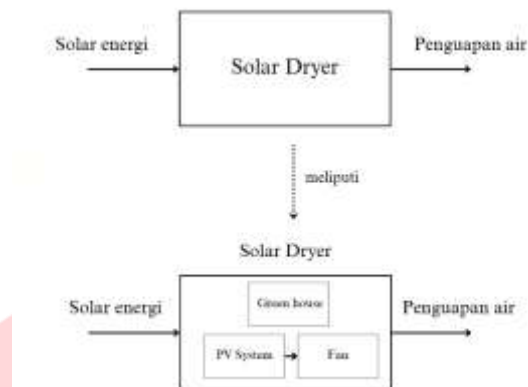
Untuk menghitung total energi radiasi matahari yang masuk ke dalam sistem pengering, digunakan pendekatan numerik berdasarkan metode luas daerah yang pada percobaan kali ini menggunakan pendekatan dengan metode luas trapesium. Pendekatan metode Integral luas daerah dipilih karena data intensitas iradiasi yang tersedia merupakan data diskrit (diperoleh tiap interval waktu 1800 detik atau 30 menit). Adapun penjabaran masing-masing variabel adalah sebagai berikut:

- $I_0, I_1, \dots, I_n$
Merupakan nilai-nilai intensitas radiasi matahari (W/m^2) yang diukur pada waktu-waktu tertentu selama proses pengeringan. Dalam konteks penelitian ini, pengukuran dilakukan setiap 30 menit, sehingga I_0 adalah intensitas awal, I_1 setelah 30 menit, dan seterusnya hingga I_n sebagai nilai terakhir.
- Δt
Adalah interval waktu antar data, dalam satuan detik. Karena data diperoleh setiap 30 menit, maka nilai $\Delta t = 30 \times 60 = 1800$ detik.
- A
Merupakan luas permukaan kolektor surya, yang menerima radiasi matahari. Dalam penelitian ini, nilai A adalah $1 m^2$. Luas ini dikalikan dengan hasil integral dari intensitas iradiasi untuk mendapatkan total energi masuk ke sistem ($Joule/m^2$).

B. Perubahan Suhu/ ΔT proses pengeringan

Pengujian kedua dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh suhu dan kelembapan relatif (RH) terhadap performa proses pengeringan pada sistem *solar dryer*. Parameter suhu merupakan faktor lingkungan yang sangat berperan dalam menentukan laju penguapan air dari bahan yang dikeringkan. Oleh karena itu, pemantauan terhadap perubahan suhu selama proses pengeringan menjadi hal yang krusial dalam menilai efektivitas sistem. Selama proses pengujian berlangsung pengukuran suhu menggunakan 2 sensor DHT-22 yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan di dalam chamber dan diluar chamber atau lingkungan. Monitoring suhu juga dilakukan secara online menggunakan google spreadsheets dengan bantuan mikrokontroller. Data suhu dan kelembapan yang terekam di Google Spreadsheet dicatat setiap 30 menit, dengan cara mengambil nilai rata-rata dari pembacaan sensor selama periode waktu tersebut. Prosedur ini dilakukan untuk mengurangi fluktuasi sesaat dan memperoleh data yang lebih representatif terhadap kondisi sebenarnya. Seluruh proses pemantauan dilakukan selama 10 hari berturut-turut, sejalan dengan pengujian efisiensi pengeringan pada pengujian pertama. Perbedaan antara suhu di dalam dan di luar chamber menjadi indikator utama

keberhasilan sistem *solar dryer* dalam menciptakan kondisi yang mempercepat proses pengeringan. Data yang diperoleh selama 10 hari pengujian ini nantinya akan digunakan untuk menganalisis hubungan antara peningkatan suhu akibat efek rumah kaca dan kinerja pengeringan yang dihasilkan oleh sistem.



Gambar 5 Diagram Blok Sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1 Perbandingan Efisiensi Pengeringan dan Efisiensi Massa Pengeringan antara Solar dryer dan Tradisional Terhadap Nilai Insolasi Harian

Insolasi Harian (J/m^2)	Efisiensi Solar Dryer (%)	Efisiensi Tradisional (%)	Δm Solar Dryer (kg)	Δm Tradisional (kg)
438480	89,99 %	57,10%	1,182	0,087
464814	82,31 %	60,64%	1,264	0,102
483696	63,19 %	43,39%	1,234	0,074
659592	54,89 %	45,14%	1,445	0,108
676620	65,71 %	59,33%	1,331	0,137
710640	57,73 %	46,45%	1,396	0,119
722700	53,07 %	45,79%	1,246	0,096
736380	59,37 %	51,99%	1,231	0,130
888480	44,09 %	42,34%	1,041	0,132
976320	41,06 %	39,11%	0,970	0,123

Data efisiensi pengeringan yang ditampilkan pada Tabel menunjukkan hasil perbandingan antara sistem *solar dryer* dan pengeringan tradisional terhadap nilai insolasi harian selama sepuluh kali pengujian. Setiap baris mewakili satu hari pengambilan data dengan nilai insolasi berbeda-beda, yang dinyatakan dalam satuan *Joule* per meter persegi (J/m^2).

Kolom pertama menunjukkan jumlah energi radiasi matahari yang diterima oleh sistem setiap harinya. Nilai ini bervariasi mulai dari 4384800 J/m² hingga 9763200 J/m², yang merepresentasikan perbedaan intensitas penyinaran matahari akibat kondisi cuaca yang berubah-ubah selama periode pengujian.

Kolom berikutnya berisi nilai efisiensi sistem *solar dryer*, yang menunjukkan persentase energi matahari yang berhasil dikonversi menjadi proses penguapan air. Efisiensi sistem *solar dryer* pada pengujian ini berkisar antara 41,06% hingga 89,99%, dengan kecenderungan menurun seiring bertambahnya nilai insolasi harian.

Sementara itu, kolom ketiga menunjukkan efisiensi sistem pengering tradisional (penjemuran terbuka). Nilainya berkisar antara 39,11% hingga 60,64%, umumnya lebih rendah dibandingkan *solar dryer*, meskipun dalam beberapa kasus nilainya mendekati.

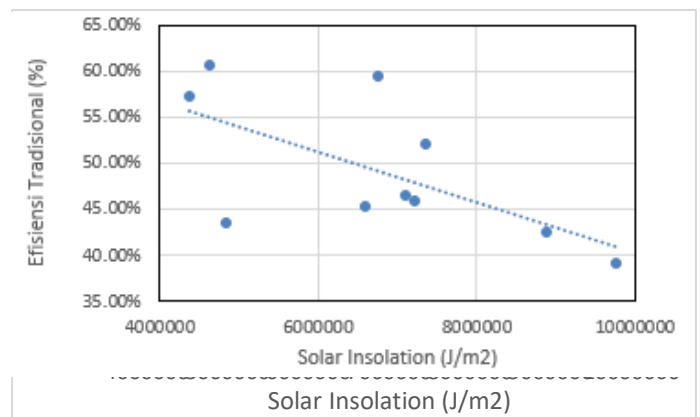
Tabel 2 Perbandingan Efisiensi Pengeringan dengan Sampel Biji Kopi

Insolasi (J/m ²)	Efisiensi Solar Dryer (%)	Efisiensi Tradisional (%)
6150600	52,25%	31,00%
9437400	41,34%	28,01%

Data yang ditampilkan merupakan hasil pengamatan terhadap efisiensi sistem pengeringan berbasis energi matahari (*solar dryer*) pada sampel kopi dan sistem pengeringan tradisional pada dua nilai total insolasi yang berbeda. Parameter yang diamati mencakup nilai total insolasi (dalam satuan Joule/m²) serta efisiensi energi pengeringan untuk kedua sistem.

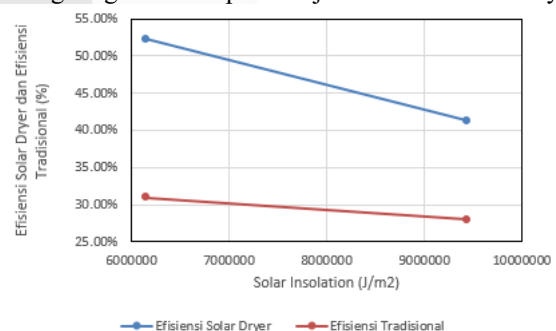
- Pada kondisi pertama, ketika total insolasi yang diterima sebesar 6150600, efisiensi sistem *solar dryer* mencapai 52,25%, sementara efisiensi sistem tradisional tercatat sebesar 31,00%.
- Pada kondisi kedua, saat insolasi meningkat menjadi 9437400, efisiensi *solar dryer* mengalami penurunan menjadi 41,34%, sedangkan efisiensi sistem tradisional juga menurun menjadi 28,01%.

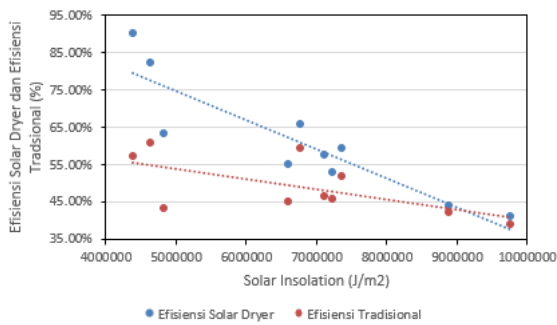
Data ini menunjukkan adanya variasi efisiensi yang terjadi seiring dengan perubahan tingkat insolasi, baik pada sistem berbasis teknologi *solar dryer* maupun pada sistem pengeringan tradisional. Untuk memperjelas hasil yang diperoleh dari pengujian efisiensi sistem, data yang telah dikumpulkan kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik perbandingan antara metode pengeringan menggunakan *solar dryer* dan metode pengeringan tradisional terhadap insolasi harian. Penyajian data ini bertujuan agar perbedaan kinerja kedua metode dapat terlihat secara lebih visual dan mudah dipahami, sekaligus menunjukkan bagaimana variasi intensitas radiasi matahari (insolasi) memengaruhi efisiensi massa pada proses pengeringan. Berikut menampilkan nilai efisiensi massa harian yang dihasilkan oleh masing-masing metode selama 10 hari pengujian.



Grafik yang ditampilkan menunjukkan hubungan antara nilai insolasi (energi matahari total yang diterima dalam satuan waktu tertentu) dengan efisiensi sistem pengering *solar dryer*. Dari pola kurva tersebut, dapat diamati adanya tren penurunan efisiensi secara umum seiring dengan meningkatnya jumlah insolasi. Fenomena ini terlihat cukup konsisten meskipun terdapat sedikit fluktuasi lokal pada beberapa titik pengukuran. Hal ini sangat mendukung berdasarkan prinsip rumus yang dipakai.

Ketika insolasi berada pada kisaran rendah (4,3–4,6 juta J/m²), efisiensi sistem pengering mencapai hampir 90%, menandakan bahwa energi yang masuk dimanfaatkan secara optimal untuk proses penguapan. Namun, saat insolasi meningkat (hingga >9,7 juta J/m²), efisiensi menurun drastis hingga sekitar 40%, akibat energi masuk yang bertambah tetapi tidak sebanding dengan peningkatan penguapan. Anomali pada insolasi 6,5–7,3 juta J/m² disebabkan oleh peningkatan Δm (penurunan massa air) yang lebih besar, sehingga energi penguapan meningkat dan nilai efisiensi juga ikut naik. Pada grafik insolasi terhadap pengering tradisional fluktuasi data efisiensi sangat terlihat jelas namun tren penurunan terhadap semakin besarnya insolasi juga masih terlihat. Fluktuasi data efisiensi juga dapat dijelaskan dengan rumus perhitungan efisiensi, bahwa semakin besar energi penguapannya maka makin besar juga efisiensinya. Oleh karena itu fluktuasi data efisiensi pengeringan juga harus ditinjau berdasarkan berapa banyak air yang menguap kelingkungan atau dapat ditinjau berdasarkan Δm nya.

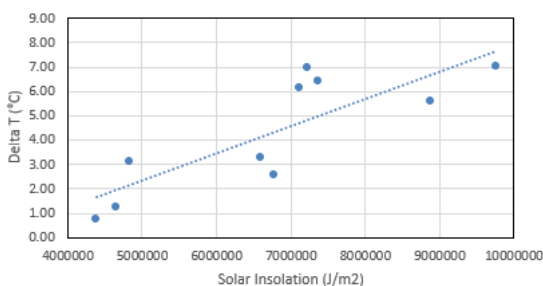




Berdasarkan grafik yang ditampilkan, sistem *solar dryer* secara konsisten menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan sistem tradisional, baik pada pengeringan sampel kain maupun kopi. Hal ini terlihat dari posisi grafik *solar dryer* yang selalu berada di atas grafik tradisional, menandakan kinerja yang lebih optimal dalam memanfaatkan energi matahari. Meskipun terjadi penurunan efisiensi seiring meningkatnya insolasi, *solar dryer* tetap mampu menjaga performa yang lebih baik. Dengan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa sistem pengering yang dibangun berhasil dan efektif meningkatkan efisiensi proses pengeringan.

Analisis Hasil Pengujian Perubahan Suhu Terhadap Insolasi Tabel

Tanggal	Insolasi Harian (J/m ²)	ΔT rata-rata (°C)	Rata-rata Iradiasi (W/m ²)
17/06/2025	4384800	0,77	187,38
24/06/2025	4648140	1,24	234,75
29/06/2025	4836960	3,15	298,57
15/06/2025	6595920	3,28	458,05
20/06/2025	6766200	2,58	313
22/06/2025	7106400	6,13	564
27/06/2025	7227000	6,97	573,57
16/06/2025	7363800	6,41	584,22
23/06/2025	8884800	5,59	548,44
26/06/2025	9763200	7,03	678

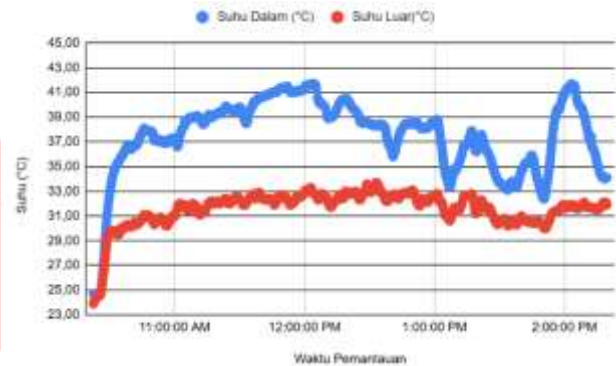


GAMBAR

Berdasarkan grafik hubungan antara nilai insolasi (J/m²) terhadap kenaikan suhu udara (ΔT dalam °C) pada sistem pengering berbasis efek rumah kaca, tampak bahwa terdapat kecenderungan umum peningkatan ΔT seiring bertambahnya insolasi. Grafik ini membuktikan juga bahwa efek rumah kaca berjalan dengan baik pada sistem ini. Namun, hubungan tersebut tidak bersifat linier sempurna, melainkan menunjukkan pola fluktuatif pada beberapa titik.

Hal tersebut dapat dijelaskan dengan kondisi rata-rata iradiasi harian pada hari tersebut.

Pada percobaan kali ini anomali data ada pada insolasi 6.766.200 J/m² dan 8.884.800 J/m² bila hanya meninjau dari nilai insolasi data, data ini dapat dibuang salah dikarenakan berbanding terbalik dengan nilai insolasi. Faktor lainnya yang dapat ditinjau adalah rata-rata iradiasi harian tercatat bahwa nilainya menunjukkan bahwa rata-rata iradiasi harian pada insolasi 6.595.920 J/m² dan insolasi 7.227.000 J/m² lebih tinggi yang membuat perubahan suhu didalam chamber pengering cenderung lebih stabil.



Gambar diatas merupakan kondisi suhu harian pada tanggal 22 Juli saat pengambilan data berlangsung suhu lingkungan atau suhu luar chamber tampak lebih stabil bila dibandingkan dengan suhu dalam chamber yaitu keterkaitannya dengan efek rumah kaca yang menyebabkan kondisi suhu didalam chamber lebih panas. Nilai iradiasi matahari juga sangat berpengaruh akan berhasilnya efek rumah kaca pada sistem, biasanya semakin tinggi nilai iradiasi maka semakin tinggi juga suhu didalam chamber. Mengacu pada grafik, sistem menunjukkan konsistensi suhu dalam chamber berada selalu diatas suhu lingkungan atau suhu luar hal ini menunjukkan efek rumah kaca pada sistem ini juga berhasil.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi Berdasarkan hasil implementasi, sistem pengering tenaga surya yang dirancang terbukti berfungsi terpadu, efisien. Monitoring berjalan dengan lancar selama 10 hari proses pengambilan data. Sistem *solar dryer* menunjukkan efisiensi yang konsisten lebih tinggi dibanding metode tradisional di berbagai kondisi cuaca. Hal ini yang menunjukkan bahwa sistem ini berhasil dalam menjaga efisiensi pengering untuk lebih tinggi di berbagai kondisi cuaca. Tren data juga menunjukkan bahwa efisiensi cenderung menurun saat insolasi meningkat, hal ini sesuai dengan rumus efisiensi pengeringan. Selain itu, ΔT meningkat seiring insolasi meningkat juga, membuktikan keberhasilan prinsip efek rumah kaca pada sistem.

REFERENSI

- [1] D. Santoso, dan S. Egra. (2018, Oct.). "Pengaruh Metode Pengeringan Terhadap Karakteristik dan Sifat Organoleptik Biji Kopi Arabika (*Coffea arabica*) dan Biji Kopi Robusta (*Coffea canephora*)." *Rona Teknik Pertanian*. [Online]. 11(2), pp. 50–56. Available: <https://jurnal.usk.ac.id/RTP/article/view/11726> [Aug. 18, 2025].
- [2] E. A. Dharmawan dan E. R. M. A. P. Lilipaly. (2023, Jun.). "Efisiensi solar dryer untuk pengawetan Ikan dan Pisang." *Jurnal Simetrik*. [Online]. 13(1), pp. 641-643. Available: <https://ojs.unpkediri.ac.id/index.php/simetri/article/view/19392> [Aug. 18, 2025].
- [3] Panggabean, Tamari., Triana, A. Neni., dan Hayari, A., "Kinerja Pengeringan Gabah Menggunakan Alat Pengering Tipe Rak dengan Energi Surya, Biomassa, dan Kombinasi," *AGRITECH*, vol. 37, no. 2, pp. 229-235, Mei 2017, doi: <http://doi.org/10.22146/agritech.25989>.
- [4] Agustina, R., Syah, H., Moulana, R., "Karakteristik Pengeringan Biji Kopo dengan Pengering Tipe Bak dengan Sumber Panas Tungku Sekam Kopi dan Kolektor Surya," *AGROTECHNO*, vol. 1, no. 1, pp. 20-27, April 2016.