

Perbandingan Performa Pengeringan Jagung Antara Sistem Pengeringan Langsung (*Direct Drying*) dan Pengeringan Tidak Langsung Menggunakan Ruang Pengering (*Drying Chamber*)

Ade Rizman^{1*}, Evi Sofia², Dalmasius Ganjar Subagio³, Yadi Radiansah⁴

^{1,2}Department of Mechanical Engineering, Widyatama University, Bandung 40125, Indonesia

^{3,4}Research Center for Energy Conversion and Conservation, BRIN, Indonesia

Corresponding Author's e-mail : ade.rizman@widyatama.ac.id

ARMADA
JURNAL PENELITIAN MULTIDISIPLIN

e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 07 Juli, 2026

Page: 2814-2824

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i7.3033>

Article History:

Received: Mei 10, 2026

Revised: Juni 20, 2026

Accepted: Juli 17, 2026

Abstract : Conventional corn drying (open sun drying) is constrained by daily weather instability. This study aims to compare the thermal performance of direct drying using a bamboo tray and indirect drying using a drying chamber cabinet. A 9 kg corn sample with an initial moisture content of 30% was tested cumulatively until the target moisture content of 13% was achieved. The results showed that the mass-loss curve of the direct drying method fluctuated due to moisture reabsorption from the humid afternoon air, whereas the indirect drying system exhibited more stable performance. In terms of thermal performance, the polyurethane insulation applied to the drying cabinet effectively minimized heat losses by maintaining a stable temperature distribution within the drying chamber. Consequently, the indirect drying system achieved a thermal efficiency of 4%, representing a fourfold improvement over the direct drying method, which attained only 1% efficiency. The relatively low efficiency values are attributable to the hybrid efficiency calculation, in which the total energy input includes both accumulated solar energy and the electrical power consumption of the blower (P_f) in the denominator of the efficiency equation, resulting in a more conservative efficiency value.

Keywords : Corn, Drying Chamber, Indirect Drying, Thermal Efficiency

Abstrak : Pengeringan jagung secara konvensional menggunakan metode *open sun drying* menghadapi kendala berupa ketidakstabilan cuaca harian. Penelitian ini bertujuan membandingkan performa termal pengeringan jagung antara metode langsung berbasis tampah dan metode tidak langsung menggunakan kabinet *drying chamber*. Sampel jagung sebanyak 9 kg dengan kadar air awal 30% dikeringkan hingga mencapai kadar air 13%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penurunan massa pada metode langsung mengalami fluktuasi akibat rehidrasi oleh udara lembap pada sore hari, sedangkan metode tidak langsung menunjukkan pola yang lebih stabil. Penggunaan isolasi *polyurethane* pada kabinet mampu mengurangi rugi kalor dan mempertahankan distribusi temperatur ruang pengering pada kondisi yang relatif konstan. Efisiensi metode tidak langsung mencapai 4%, atau empat kali lebih tinggi dibandingkan metode langsung yang hanya mencapai 1%. Nilai efisiensi yang relatif rendah disebabkan oleh pendekatan perhitungan hibrida yang memasukkan energi radiasi surya dan konsumsi daya listrik blower

sebagai total energi masukan. Dengan demikian, kabinet berisolasi menunjukkan performa termal yang lebih baik dan stabil.

Kata kunci: Jagung, *Drying Chamber*, Pengeringan Tidak Langsung, Efisiensi Termal

PENDAHULUAN

Dalam manajemen pasca-panen, tahapan pengeringan memegang peranan yang sangat vital untuk mengendalikan tingkat kerusakan biologis, memperpanjang daya simpan, serta meminimalkan penyusutan kualitas nutrisi pada komoditas jagung pipil (Hadiputra, 2025; Ismandari, 2023; Ntwali et al., 2021; Survidia, 2022). Sebagai bahan baku strategis pada industri pakan ternak sekaligus pilar ketahanan pangan nasional, biji jagung yang baru dipetik umumnya membawa karakteristik massa air awal (*initial moisture content*) yang tergolong tinggi, yakni mencapai 25% hingga 30% (Hantai & Liputo, n.d.; Latief et al., 2023; Salahuddin et al., 2023). Tingginya kandungan air bebas tersebut menyebabkan struktur biji menjadi sangat rentan terhadap invasi mikroba merugikan, pembusukan dini, hingga pembentukan aflatoksin akibat kontaminasi kapang yang dapat mendegradasi mutu pakan secara masif (Ismandari, 2023; Ntwali et al., 2021; Setiadi et al., 2024; Survidia, 2022). Oleh karena itu, reduksi massa air melalui proses dehidrasi hingga menyentuh ambang batas aman sebesar 13%–14% merupakan sebuah standarisasi teknis yang wajib dipenuhi sebelum komoditas jagung ini didistribusikan atau disimpan dalam fasilitas pergudangan (Latief et al., 2023; Qurrota et al., 2025; Salahuddin et al., 2023). Proses dehidrasi pada biji jagung merupakan fenomena perpindahan panas dan massa secara simultan yang bertujuan untuk menurunkan kadar air dari tingkat pasca-panen (25–30% wet basis) menuju kadar air aman simpan standar yaitu 14% wet basis (Effendy, 2018).

Pada sektor hulu, mayoritas petani tradisional masih bergantung penuh pada metode penjemuran langsung (*open sun drying*) konvensional dengan menghamparkan biji jagung di atas tampah atau lantai semen terbuka di bawah paparan terik matahari (Hadiputra, 2025; Harianda et al., 2019; Ntwali et al., 2021). Walaupun mekanisme ini dinilai sangat murah dan praktis tanpa memerlukan modal mekanis yang besar, ketergantungan mutlak pada fluktuasi cuaca harian, paparan sinar ultraviolet bebas, serta ketidakpastian intensitas radiasi termal menjadi kelemahan utama dari sistem pengeringan langsung (Admojo, 2023; Babić & Babić, 2020; Silva, 2020). Lebih jauh lagi, penjemuran di area terbuka rawan memicu ketidakstabilan karakteristik pengeringan, suatu kondisi di mana penurunan berat sampel melambat akibat tidak menentukannya suplai energi panas matahari ketika hari mulai beranjak sore (Ismandari, 2023; Junawan et al., 2022).

Keterbatasan mendasar pada aspek pemulihan energi kalor serta jaminan mutu dari sistem penjemuran langsung tersebut mendorong urgensi peralihan menuju teknologi pengeringan tidak langsung (*indirect drying*) melalui pemanfaatan ruang pengering (*drying chamber*) yang terisolasi (Babić & Babić, 2020; Ramdhani et al., 2025; Yassen, 2021). Melalui aplikasi kabinet pengering mekanis seperti tipe baki (*tray/cabinet*) maupun modifikasi rancangan *vertical dryer*, rambatan temperatur panas dapat disebarkan secara merata guna mengoptimalkan laju penguapan air pada lapisan tipis (*thin-layer drying*) tanpa dipengaruhi secara radikal oleh dinamika lingkungan luar (Adha et al., 2024; Sutanto et al., 2024; Tanggasari & Jatnika, 2023). Berbagai riset membuktikan bahwa pengaturan posisi susunan rak baki memiliki korelasi linear terhadap akselerasi laju penurunan massa bahan (Sutanto et al., 2024). Di samping itu, pemasangan isolasi termal pada dinding kabinet terbukti sangat responsif dalam mereduksi kerugian kalor (*heat loss*) ke atmosfer sekaligus menjaga kestabilan unjuk kerja termal perangkat (Arso & Keerom, 2024; Liu et al., 2025; Silva, 2020).

Sebagai solusi termal untuk mengatasi kelemahan tersebut, sistem pengeringan tidak langsung (*indirect solar drying*) dikembangkan dengan memisahkan fungsi penangkap panas dan ruang pengeringan. Udara ambien dipanaskan terlebih dahulu di dalam sebuah kolektor surya pelat datar sebelum dialirkan menggunakan gaya konveksi menuju ruang pengeringan terpisah (*drying chamber*) yang mengondisikan material jagung dalam keadaan terisolasi dari radiasi matahari langsung.

Meskipun pengembangan ruang pengering tertutup yang dikombinasikan dengan kolektor hibrida maupun alat penukar panas telah banyak diteliti, studi komparatif berbasis eksperimen murni yang membandingkan secara langsung performa kabinet drying chamber berisolasi polyurethane dengan metode penjemuran tampah konvensional untuk sampel jagung berkapasitas 9 kg masih sangat jarang dievaluasi secara kuantitatif. Kebaruan (novelty) dari penelitian ini terletak pada analisis komparasi unjuk kerja termal melalui pemetaan grafik fluktuasi penurunan berat sampel terhadap waktu pengujian, serta perhitungan efisiensi termal murni dari kedua sistem secara eksperimental. Hasil dari kajian murni ini diproyeksikan dapat menjadi basis teoretis dan acuan aplikatif yang kokoh dalam teknologi alat pengering tidak langsung yang stabil untuk mendukung penanganan pasca-panen komoditas jagung.

METODE PENELITIAN

Bahan baku utama yang diaplikasikan pada eksperimen ini memanfaatkan komoditas biji jagung (*Zea mays* L.) yang disuplai dari sektor pertanian lokal daerah Cianjur, Jawa Barat. Untuk mempertahankan aspek konsistensi serta validitas termal pada kondisi awal, seluruh sampel jagung dipilih dari varietas dan tingkat kematangan yang seragam dengan kadar air awal (initial moisture content) yang diatur ketat pada angka 30%. Rangkaian pengujian ini membandingkan dua perlakuan termal yang berbeda, yakni sistem dehidrasi tidak langsung (indirect drying) berbasis ruang pengering (drying chamber) tertutup hasil modifikasi unit Vertical Dryer, serta pengeringan langsung (direct drying) konvensional dengan media tampah bambu terbuka (open sun drying).

Perbedaan mendasar antara kedua metode pengeringan terletak pada pemanfaatan moda perpindahan panas untuk menghantarkan energi termal ke dalam tumpukan baki produk. Pada metode langsung, energi radiasi matahari atau fluks udara panas mengenai permukaan material secara langsung tanpa adanya sekat pembatas, sehingga mempercepat eksitasi molekul air di permukaan luar bahan (Usman, 2024). Pada instalasi tidak langsung, aliran udara dari luar ditingkatkan entalpi termalnya melalui mekanisme pertukaran kalor (heat exchange) di dalam unit kolektor surya sebelum dihembuskan oleh blower ke kabinet jagung. Sebaliknya, pada metode langsung, komoditas diletakkan pada baki terbuka agar mendapatkan paparan radiasi surya serta sirkulasi angin konveksi alami secara langsung. Selama pengujian berlangsung, pengambilan data parameter teknis di lapangan mengandalkan instrumentasi ukur dengan tingkat akurasi tinggi. Sensor suhu yang digunakan berupa termokopel multikanal tipe-T yang dikoneksikan langsung pada perangkat pencatat data (data logger) untuk melakukan akuisisi serta penyimpanan fluktuasi temperatur ruang secara otomatis dan berkala (real-time). Sementara itu, kecepatan aliran udara di dalam sistem diukur menggunakan anemometer digital, sedangkan penurunan kadar air bahan dipantau secara berkala melalui perekaman penyusutan massa jagung menggunakan timbangan digital presisi.

Prosedur eksperimental dilakukan secara komparatif dengan membagi pengujian ke dalam dua tahapan utama berdasarkan karakteristik sistem pengeringan. Seluruh rangkaian pengujian dan pengambilan data eksperimen dilaksanakan secara langsung di halaman Laboratorium Konversi Energi, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama, Bandung. Langkah awal dimulai dengan persiapan sampel jagung, di mana pengeringan menggunakan drying chamber (sistem tidak langsung) dan pengeringan langsung masing-masing menggunakan massa bahan baku konstan sebesar 9 kg. Sebelum sampel dimasukkan ke dalam masing-masing sistem pengering, Sebelum sampel dimasukkan ke dalam ruang pengering, prototipe Vertical Dryer dioperasikan tanpa beban (preheating) selama 15 menit. Kondisi tunak (steady-state thermal condition) ditetapkan ketika temperatur udara masuk ruang pengering (T_{in}) yang dipantau menggunakan termokopel tipe-T yang terhubung ke data logger tidak lagi menunjukkan kenaikan yang signifikan dan telah berfluktuasi pada rentang yang relatif konstan. Setelah kondisi tersebut tercapai, sampel jagung sebanyak 9 kg dimasukkan ke dalam ruang pengering dan proses pengujian dimulai dengan kecepatan aliran udara blower yang dijaga tetap konstan. Setelah kondisi tunak tercapai, sampel jagung seberat 9 kg dimasukkan ke dalam ruang pengering dan laju aliran udara dari blower diatur serta dioptimalkan pada kecepatan yang konstan. Pengumpulan data empiris dilakukan secara berkala dengan interval waktu setiap 15 menit sekali yang dimulai dari pukul 08.00 WIB

sampai dengan pukul 16.00 WIB, di mana durasi dan kelangsungan operasional harian tersebut disesuaikan secara dinamis bergantung pada fluktuasi kondisi cuaca di lokasi penelitian. Parameter yang dicatat pada setiap interval meliputi temperatur lingkungan (T_{amb}), temperatur masuk ruang pengering (T_{in}), temperatur keluar (T_{out}), kelembapan relatif (relative humidity - RH), serta fluktuasi penurunan massa bahan. Proses dehidrasi mekanis ini dihentikan secara mutlak ketika instrumen pengukur menunjukkan bahwa kadar air akhir biji jagung pada masing-masing metode telah mencapai target aman kritis yang ditentukan, yaitu sebesar 13%.



Gambar 1. Alat *Drying Chamber*

Karakteristik rancang bangun, dimensi fisik, dan komponen utama prototipe *drying chamber* (sistem tidak langsung) disajikan pada Gambar 1. Ruang pengering ini berupa kabinet modular tertutup dengan kapasitas desain 10 kg bahan pertanian (Subagio, 2024). Secara geometris, kabinet memiliki dimensi eksternal 0,80 m x 0,80 m x 1,20 m dengan akumulasi volume kotor sebesar 0,768 m³. Rangka utama menggunakan aluminium hollow 40 mm x 40 mm untuk menjamin kekuatan struktural (*structural rigidity*) sekaligus menjaga bobot instalasi tetap ringan. Dinding penutup kabinet menggunakan plat aluminium *food grade* (Tipe 1100, 3003, dan 3004) untuk mencegah kontaminasi kimiawi korosif pada komoditas. Guna mereduksi kerugian panas konveksi alami (*heat losses*) menuju lingkungan, seluruh bodi kabinet diisolasi menggunakan lapisan *polyurethane* setebal 0,05 m. Di bagian interior, terdapat 10 unit baki (*tray*) plat aluminium berlubang berdimensi 0,45 m x 0,36 m dengan penopang rangka hollow besi 15 mm x 15 mm. Struktur baki berlubang (*perforated plate*) ini berfungsi meminimalkan hambatan aerodinamis aliran udara konveksi paksa *vertikal*.

Suplai energi termal kontinu disalurkan melalui unit kolektor surya atas yang bertindak sebagai pemanas udara awal (*air pre-heater*). Kolektor ini menggunakan plat aluminium datar 1 mm berlapis cat hitam pekat sebagai absorber, serta dilindungi penutup kaca bening tunggal (*clear glass single glazing*) berukuran 800 mm x 760 mm dengan ketebalan 5 mm untuk mengoptimalkan efek rumah kaca (*greenhouse effect*).



Gambar 2. Tampah

Konfigurasi pengujian kontrol menggunakan metode penjemuran surya langsung (*open sun drying*) disajikan pada Gambar 2. Pada konfigurasi ini, tampah anyaman bambu berbentuk lingkaran digunakan sebagai wadah penampung sampel jagung hibrida seberat 9 kg. Wadah ini

memiliki luas penampang alas bersih sebesar 0,26 m², yang berfungsi sebagai area paparan (*exposure area*) terhadap radiasi surya total dan aliran udara alami selama proses dehidrasi kontrol berlangsung. Untuk mengevaluasi kinerja teknis serta menentukan efisiensi sistem yang paling optimum, data empiris yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif melalui pendekatan termodinamika dan karakteristik pengeringan. Parameter pertama adalah Laju Pengeringan (*Drying Rate* - DR) yang dihitung menggunakan Persamaan (1) untuk mengidentifikasi massa air yang berhasil diuapkan dari dalam bahan per satuan waktu:

$$DR = \frac{M_b - M_k}{\Delta t}$$

Pada persamaan tersebut, M_b melambangkan massa basah sampel jagung sebelum interval pengeringan (gram), M_k mewakili massa kering sampel jagung setelah interval pengeringan selesai (gram), dan Δt menyatakan interval waktu pengamatan aktual yang ditetapkan (menit) (Setiadi et al., 2024). Bersamaan dengan itu, penurunan kadar air aktual atau *Moisture Content* (MC) dari biji jagung pada setiap interval waktu pengujian dihitung menggunakan pendekatan basis kering (*dry basis*) melalui Persamaan (2):

$$M = \frac{M_b - M_k}{M_k} \times 100\%$$

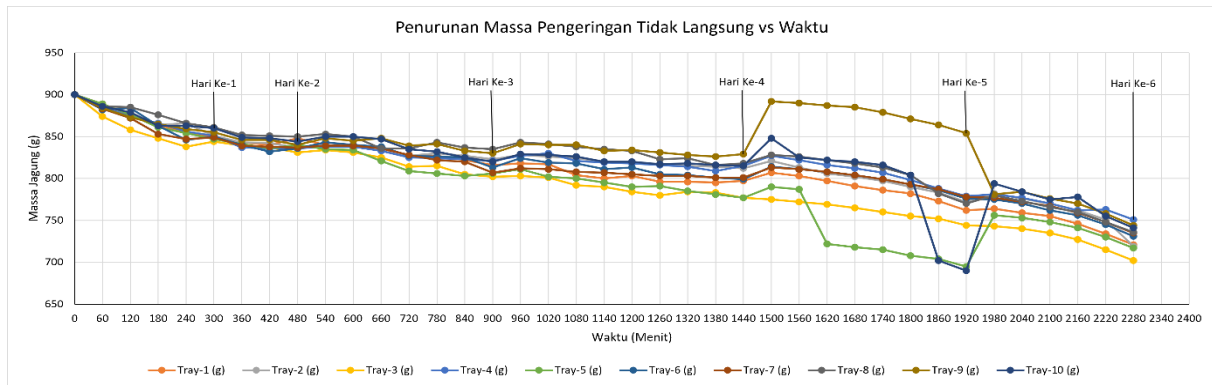
Dalam rumusan ini, M_b melambangkan massa basah sampel jagung awal sebelum proses dehidrasi atau pada awal interval pengukuran (gram), sedangkan M_k menyatakan massa kering sampel jagung akhir setelah melewati proses pengeringan pada interval waktu tersebut (gram) (Hantai & Liputo, n.d.). Terakhir, performa termal dari keseluruhan instalasi dianalisis menggunakan perhitungan Efisiensi Termal Sistem (η_d) yang dirumuskan melalui Persamaan (3):

$$\eta_d = \frac{m \times hfg}{(I \times A \times t) + (Pf \times t)} \times 100\%$$

Persamaan hibrida ini membandingkan energi aktual yang dimanfaatkan untuk menguapkan kandungan air bahan terhadap total input energi surya dan elektrik eksternal. Di mana η_d menyatakan efisiensi pengeringan (%), m adalah total massa air yang berhasil diuapkan selama proses berlangsung (kg), hfg melambangkan nilai panas laten penguapan air, I melambangkan intensitas radiasi matahari yang diterima (W/m²), A menunjukkan luas bidang dari kolektor surya (m²), t merupakan total durasi waktu pengeringan (s), dan Pf mewakili daya listrik yang dikonsumsi oleh komponen kipas atau blower pengonveksi (Watt) (Setiadi et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

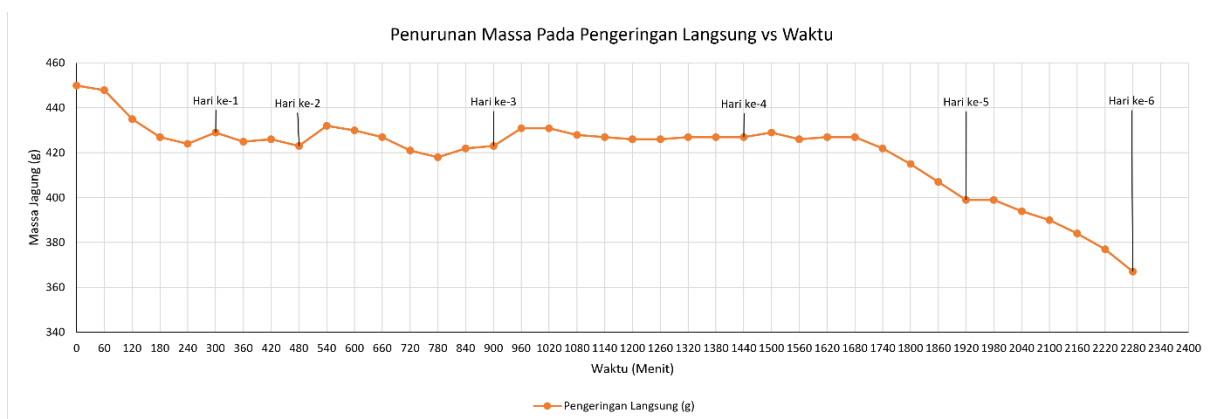
Karakteristik dehidrasi biji jagung hibrida seberat 9 kg dengan metode pengeringan tidak langsung (*indirect drying*) memanfaatkan *drying chamber* dievaluasi secara kuantitatif berdasarkan laju penurunan bobot material sepanjang durasi operasional akumulatif. Guna mengoptimasi keterbacaan tren fisis serta mereduksi ketidakjelasan visual (*data noise*) akibat kerapatan interval pendek pada sumbu koordinat, keseluruhan data empiris dari enam hari siklus pengujian digabungkan secara simultan ke dalam satuan menit operasional dengan total durasi mencapai 2280 menit atau setara dengan 38 jam waktu pengujian aktual. Data berkala tersebut diseragamkan ke dalam plot waktu berbasis interval per satu jam (Menit ke-0, 60, 120, hingga Menit ke-2280) yang disajikan secara rinci pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Penurunan Masa Pengeringan Tidak Langsung Terhadap Waktu

Secara umum, tren pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa penyusutan massa bahan didominasi oleh fasa laju pengeringan menurun (*falling rate period*). Menariknya, muncul anomali berupa kenaikan bobot di seluruh tingkatan baki (*tray*) pengering pada rentang Menit ke-1500 sampai Menit ke-1920. Fenomena tersebut terjadi akibat proses rehidrasi material, di mana karakteristik struktur biji jagung memicu penyerapan kembali kandungan kelembapan dari udara sekitar akibat lonjakan kelembapan relatif (*relative humidity - RH*) lingkungan karena faktor cuaca lapangan. Bobot bahan terpantau kembali menurun pada rentang Menit ke-1920 hingga Menit ke-1980 seiring dengan pulih dan stabilnya temperatur udara masuk kabinet (*Tin*). Selain itu, fluktuasi penurunan massa yang cukup tajam juga terekam jelas pada Tray 5 di rentang Menit ke-1560–1620 serta Tray 10 pada rentang Menit ke-1800–1860.

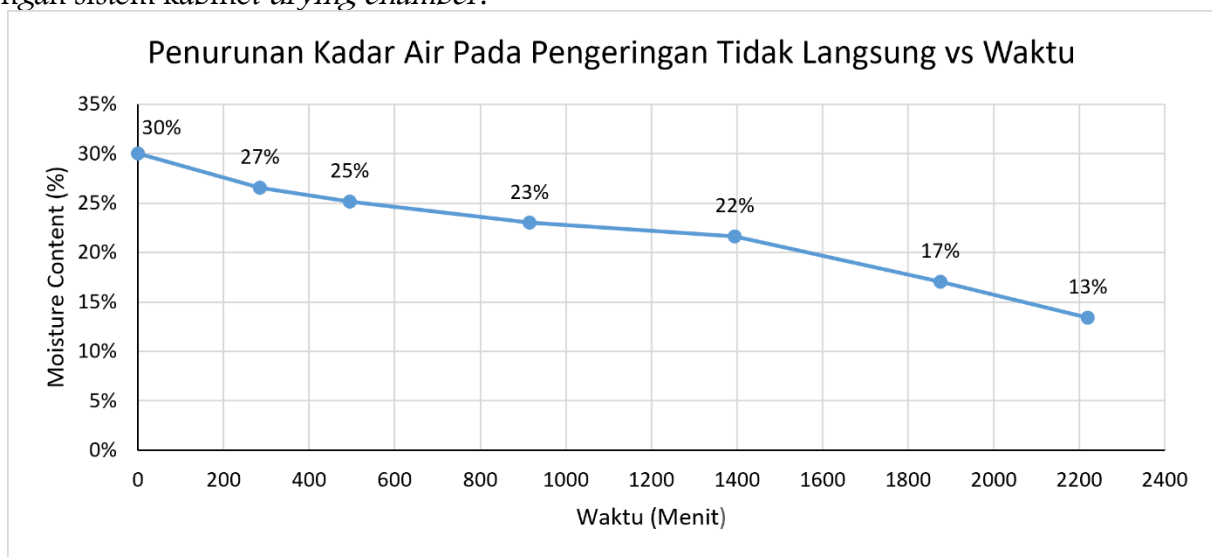
Penurunan massa yang signifikan di kedua baki ini mengindikasikan adanya efek pemusatan aliran udara panas lokal (*localized thermal channeling*) serta efek tekanan balik (*back-pressure effect*) pada kompartemen bagian atas kabinet. Kondisi tersebut kemudian memicu lonjakan penyerapan kelembapan kembali pada Menit ke-1980 sebelum akhirnya pergerakan grafik perlahan kembali stabil menuju target kadar air akhir 13% di akhir pengujian. Selain kemungkinan dipengaruhi oleh fenomena *localized thermal channeling* dan *back-pressure effect*, lonjakan penurunan massa yang terjadi secara sesaat pada Tray 9 dan Tray 10 juga tidak dapat dilepaskan dari kemungkinan adanya variasi eksperimental selama pengambilan data berkala. Faktor-faktor seperti perubahan posisi baki saat proses penimbangan, ketidaktepatan penempatan kembali sampel pada baki, maupun ketidakpastian pembacaan timbangan digital berpotensi menimbulkan deviasi sesaat pada data massa. Namun demikian, anomali tersebut hanya muncul pada beberapa titik pengamatan dan tidak mengubah kecenderungan umum kurva pengeringan, yang tetap menunjukkan penurunan massa secara progresif hingga kadar air akhir mencapai 13%. Oleh karena itu, lonjakan sesaat tersebut dipandang sebagai variasi eksperimental yang tidak memengaruhi interpretasi utama mengenai karakteristik pengeringan sistem.



Gambar 4. Grafik Penurunan Massa Pada Pengeringan Langsung Terhadap Waktu

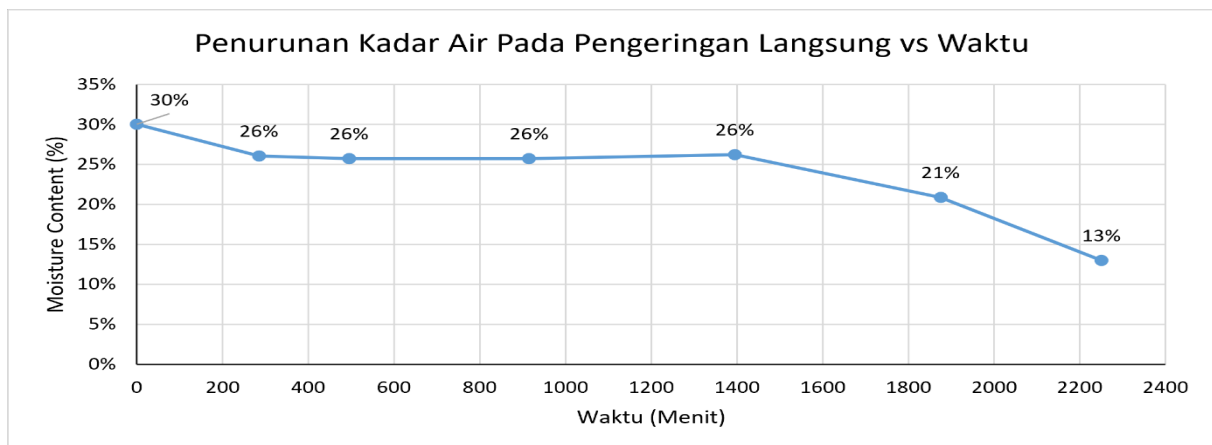
Sebagai pembandingan performa, profil karakteristik penurunan massa jagung seberat 9 kg menggunakan metode pengeringan langsung (*direct drying*) atau penjemuran konvensional selama total durasi 2280 menit (38 jam) disajikan pada Gambar 4. Berbeda dengan sistem chamber, tren grafik pengeringan langsung ini memperlihatkan pola fluktuasi harian berbentuk gelombang yang berulang dari Hari ke-1 hingga Hari ke-6. Pola naik-turun bobot bahan yang konsisten muncul di setiap akhir siklus harian (seperti pada Menit ke-300, 540, 1020, dan 1500) mengonfirmasi terjadinya fenomena rehidrasi alami yang masif.

Kondisi wadah tampah yang terbuka tanpa isolasi termal membuat biji jagung langsung terpapar oleh penurunan temperatur lingkungan serta lonjakan kelembapan udara jenuh saat operasional lapangan memasuki sore hari. Akibatnya, karakteristik bahan tersebut memicu penyerapan kembali uap air dari udara sekitar secara masif. Proses penurunan bobot yang efektif baru berjalan secara linear kembali pada rentang Menit ke-1680 hingga Menit ke-2280 saat intensitas radiasi matahari harian kembali optimal. Pola fluktuasi yang berulang ini secara fisis menjelaskan mengapa metode penjemuran terbuka membutuhkan waktu operasional aktual yang cenderung lebih panjang serta menghasilkan laju dehidrasi yang tidak stabil jika dibandingkan dengan sistem kabinet *drying chamber*.



Gambar 5. Grafik Penurunan Kadar Air Pengeringan Tidak Langsung Terhadap Waktu

Perubahan nilai kadar air aktual (*moisture content*) dari 9 kg biji jagung hibrida selama proses pengeringan tidak langsung (*indirect drying*) bisa kita lihat pada Gambar 5. Jika kita perhatikan tampilan sumbu Y yang sudah diperbarui, grafik ini merekam pergerakan persentase kadar air bahan dari menit awal penjemuran sampai fasa akhir pengujian.



Gambar 6. Grafik Penurunan Kadar Air Pengeringan Langsung Terhadap Waktu

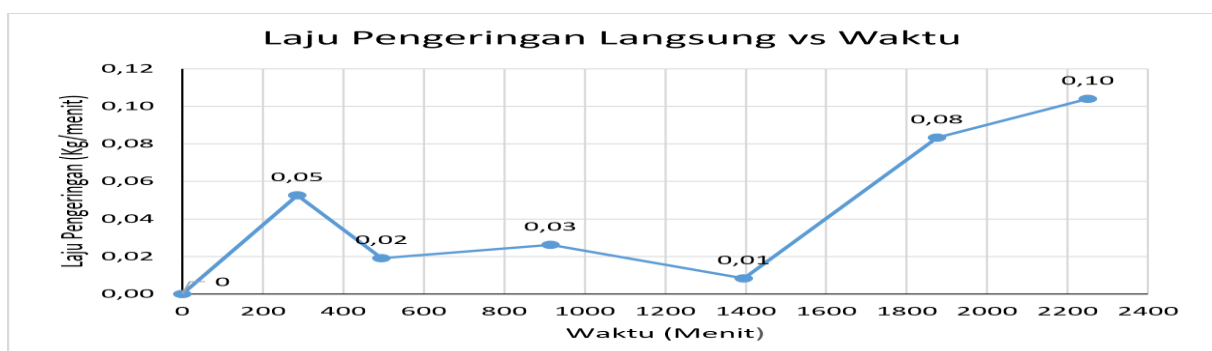
Untuk melihat perbandingannya, pergerakan nilai kadar air aktual (*moisture content*) dari biji jagung menggunakan metode pengeringan langsung (*direct drying*) diplot terhadap waktu pada Gambar 6. Mirip dengan grafik fasa tidak langsung, visualisasi pada Gambar 6 ini menampilkan profil persentase kadar air bahan di sepanjang total durasi pengujian lapangan.



Gambar 7. Grafik Laju Pengeringan Tidak Langsung Terhadap Waktu

Karakteristik laju pengeringan (*drying rate*) pada sampel jagung hibrida seberat 9 kg dengan metode tidak langsung (*indirect drying*) sepanjang durasi akumulatif 2280 menit disajikan secara rinci pada Gambar 7. Secara umum, profil kurva tersebut memperlihatkan pola dehidrasi yang khas pada komoditas pangan, di mana laju pelepasan air tertinggi tercatat pada fase awal pengujian dengan nilai mencapai 0,980 kg/jam akibat tingginya kandungan air bebas di permukaan luar bahan. Seiring bertambahnya waktu operasional, laju dehidrasi terpantau mengalami penurunan signifikan hingga menyentuh titik terendah sebesar 0,228 kg/jam pada Menit ke-1400 karena mekanisme penguapan mulai dihambat oleh resistensi difusi internal bahan jagung.

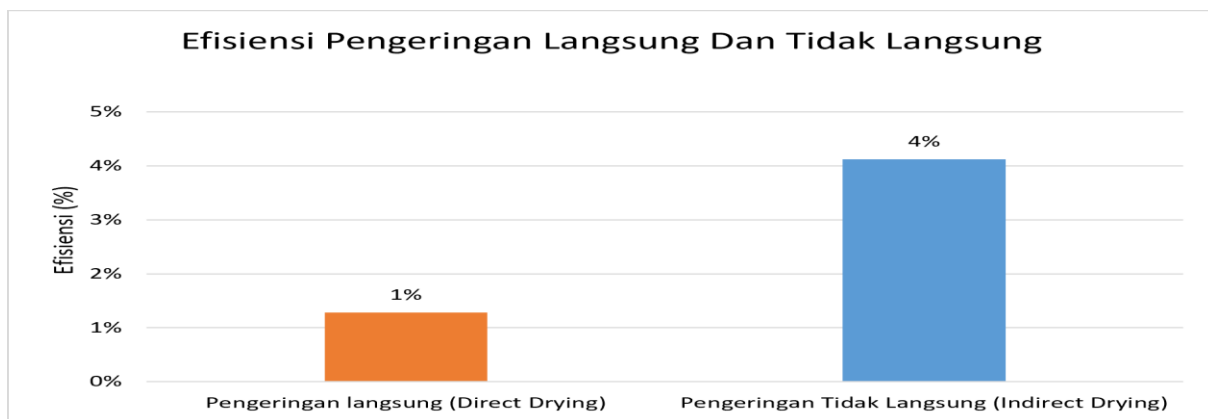
Menariknya, kurva kembali menunjukkan peningkatan laju ekstraksi air yang cukup signifikan pada Menit ke-1860 hingga menyentuh angka 0,573 kg/jam, sebelum akhirnya sedikit melandai di angka 0,523 kg/jam pada akhir pengujian. Kenaikan ini merupakan respons fisis terhadap fenomena penambahan bobot bahan yang terjadi pada jam-jam sebelumnya akibat pengaruh cuaca lembap di lokasi penelitian. Begitu temperatur udara masuk kabinet (T_{in}) kembali optimal dan kelembapan relatif (*relative humidity* - RH) lingkungan menurun, uap air yang sempat terserap di permukaan luar jagung langsung dievakuasi kembali secara cepat oleh sirkulasi konveksi paksa dari blower. Fenomena ini membuktikan kalau sistem drying chamber memiliki kemampuan pemulihan termal (*thermal recovery*) yang sangat baik dalam menjaga stabilitas laju dehidrasi produk hingga tuntas mencapai target kadar air akhir 13%.



Gambar 8. Grafik Laju Pengeringan Langsung Terhadap Waktu

Sebagai pembanding unjuk kerja termal, profil laju pengeringan (*drying rate*) sampel jagung seberat 9 kg menggunakan metode langsung (*direct drying*) atau penjemuran konvensional disajikan pada Gambar 8. Karakteristik kurva pada Gambar 8 memperlihatkan ketidakstabilan fisis yang sangat kontras jika kita bandingkan dengan sistem *drying chamber*. Di awal pengujian (Menit ke-300), laju pengeringan hanya berada di angka 0,05 kg/jam, lalu merosot tajam hingga menyentuh titik kritis terendah sebesar 0,01 kg/jam pada Menit ke-1400. Pola penurunan yang lambat ini mengonfirmasi rendahnya intensitas panas yang diterima bahan serta tingginya resistensi kelembapan udara terbuka saat cuaca lapangan sedang memburuk.

Namun, variasi nilai yang signifikan terjadi pada paruh akhir pengujian, di mana laju pengeringan meningkat secara mendadak hingga menyentuh angka 0,08 kg/jam pada Menit ke-1860 dan mencapai puncaknya di angka 0,10 kg/jam pada Menit ke-2250. Kenaikan pada fasa akhir tersebut menunjukkan pelepasan kembali akumulasi kandungan air secara massal setelah komoditas mengalami penyerapan kelembapan akibat udara lembap di hari-hari sebelumnya. Ketika intensitas radiasi matahari kembali optimal di akhir siklus harian, energi termal langsung menguapkan air bebas yang tertahan di permukaan luar jagung secara simultan. Meskipun laju akhir terlihat tinggi, fluktuasi yang tidak stabil ini secara keseluruhan membuktikan bahwa metode terbuka menghasilkan efisiensi dehidrasi yang buruk dan tidak sekonstan sistem ruang pengering tertutup.



Gambar 9. Grafik Efisiensi Pengeringan Langsung Dan Tidak Langsung

Kinerja termal menyeluruh dari kedua metode pengujian yang didasarkan pada perhitungan hibrida pemanfaatan energi surya serta konsumsi daya elektrik disajikan pada Gambar 9. Karakteristik diagram batang menunjukkan bahwa sistem pengeringan tidak langsung (*indirect drying*) menghasilkan efisiensi pengeringan sebesar 4%, sementara metode pengeringan langsung (*direct drying*) hanya mencapai nilai efisiensi sebesar 1%. Meskipun kedua angka tersebut secara mutlak tergolong rendah jika dibandingkan dengan sistem pengeringan berskala industri mekanis penuh, perbandingan ini membuktikan adanya peningkatan efisiensi termal hingga empat kali lipat pada penggunaan instalasi ruang pengering (*drying chamber*) tertutup.

Rendahnya nilai efisiensi pada pengeringan langsung (1%) sangat dipengaruhi oleh karakteristik wadah tampah terbuka tanpa isolasi penahan panas. Akibatnya, sebagian besar energi radiasi surya yang datang terbuang sia-sia kembali ke lingkungan akibat hembusan angin konveksi alami lokal yang tidak terkendali. Sebaliknya, efisiensi yang lebih tinggi pada sistem tidak langsung (4%) mengonfirmasi peran fungsional yang sukses dari lapisan isolasi polyurethane bodi kabinet dalam menekan angka kerugian panas (*heat losses*) menuju udara luar. Struktur tertutup dari kabinet pengering ini mampu memerangkap dan mendistribusikan aliran udara panas konveksi hibrida dari blower secara lebih terarah untuk menguapkan kandungan air bahan secara konstan dari awal hingga akhir siklus pengujian.

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil pengujian eksperimental selama durasi akumulatif 2280 menit menunjukkan bahwa sistem pengeringan tidak langsung (indirect drying) memiliki stabilitas dehidrasi yang lebih unggul dalam menurunkan kadar air biji jagung hibrida hingga mencapai batas kritis 13% dibandingkan metode pengeringan langsung (direct drying). Pada metode langsung, fluktuasi penurunan bobot secara konsisten terjadi akibat adanya fenomena penyerapan kembali kelembapan dari udara luar yang jenuh saat sore hari. Sebaliknya, penggunaan kabinet drying chamber terbukti efektif meminimalkan dampak fluktuasi cuaca tersebut melalui mekanisme pemulihan termal (thermal recovery) yang responsif. Kinerja termal ini dipertegas oleh capaian efisiensi pengeringan sistem tidak langsung yang menyentuh angka 4% berkat peran lapisan isolasi polyurethane dalam mereduksi kerugian panas (heat losses), yang berarti menunjukkan peningkatan performa hingga empat kali lipat daripada efisiensi penjemuran langsung yang hanya sebesar 1%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama Bandung atas fasilitas ruang laboratorium dan dukungan sarana akademis selama penelitian berlangsung. Apresiasi dan terima kasih juga ditujukan kepada Pusat Penelitian Konversi Energi dan Konservasi, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) atas bimbingan teknis, penyediaan instrumen pengukuran presisi, serta dukungan data termal yang sangat berharga dalam penyempurnaan prototipe ruang pengering ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adha, F., Kekuatan, A., Dan, T., Yuniata, E., Anggi, D. A., & Rio, D. (2024). *Jurnal teknik mesin. April*.
- Admojo, S. T. (2023). *Perancangan Alat Pengering Jagung Tipe Bed Dryer Dengan Metode VDI produksi jagung (Pasandaran , 2017) dan memiliki potensi yang dapat menjadikan tanaman. 1(4)*.
- Arso, K., & Keerom, K. (2024). *PENERAPAN PENGERING SURYA DENGAN TURBIN VENTILATOR PADA PETANI JAGUNG DI DESA BIBIOSI*. 5(1), 1053–1056.
- Babić, M., & Babić, L. (2020). Advantages and disadvantages of direct and indirect drying of mercantile grain and seeds. *Journal on Processing and Energy in Agriculture*, 24(2), 81–84. <https://doi.org/10.5937/jpea24-29698>
- Effendy, S. (2018). *Kajian Prototipe Rotary Dryer Berdasarkan Kecepatan Putaran Silinder Pengering Dan Laju Alir Udara Terhadap Efisiensi Thermal Pengeringan Biji Jagung Study Of Rotary Dryer Prototype Based On The Revolutions Of The Dryer And Air Flow Rate Towards The Therm. 9(02)*, 43–49.
- Hadiputra. (2025). *Ni Made Vina Trisnawati , Ni Luh Yulianti *, I Putu Surya Wirawan. 13*, 295–303.
- Hantai, I., & Liputo, B. (n.d.). *Prototype pengering efek rumah kaca type hybrid 1,2). 1(1)*, 12–15.
- Harianda, I., Pengajar, S., Konversi, T., Mesin, J. T., Medan, P. N., Pengajar, S., Mesin, T., Mesin, J. T., & Medan, P. N. (2019). *Prototype Corn Drying Hybrid Of Solar Energy. V*, 87–96. <https://doi.org/10.28989/senatik.v5i0.304>
- Ismandari, T. (2023). Optimasi suhu dan waktu pengeringan pada kegiatan pascapanen jagung (Zea Mays L): Optimization of drying time and temperature in postharvest activities of corn (Zea Mays L). *Teknologi Pangan: Media Informasi Dan Komunikasi Ilmiah Teknologi Pertanian*, 14(1), 132–145.
- Junawan, R. H., Latief, M. F., Yamin, A. A., Syamsu, J. A., Teknologi, L., Peternakan, F., Hasanuddin, U., Sumber, P., Peternakan, D., & Hasanuddin, U. (2022). *KINERJA MESIN VERTICAL DRYER DALAM PROSES PENGERINGAN JAGUNG SEBAGAI BAHAN PAKAN. 7(November)*, 97–101.
- Latief, M. F., Amal, I., Aini, F. N., Nutrisi, D., Peternakan, F., & Hasanuddin, U. (2023). *Perubahan Nutrisi dan Kualitas Fisik Jagung Akibat Pengeringan pada Vertical Corn Dryer Changes in Corn Nutrition and Physical Quality Due to Drying in Vertical Corn Dryer. 5(2)*, 135–142.

- Liu, Y., Chen, B., Liu, X., Luo, C., Mesin, T., Vokasi, U., Otomotif, T., Mekanik, M., Kehutanan, U., South, C., & Metode, B. (2025). *Kinerja Pengeringan dan Variasi Kualitas Biji Jagung pada Metode Pengeringan yang Berbeda 2 . 1 Bahan dan Peralatan*. <https://doi.org/10.32604/fhmt.2025.070973>
- Ntwali, J., Schock, S., Romuli, S., Kiria, C. G., Bandada, N., & Müller, J. (2021). *terapan Evaluasi Kinerja Pengering Jagung Tenaga Surya Tiup dan Pengaruhnya terhadap*.
- Qurrota, D., Sasongko, S. B., Djaeni, M., Cahyo, A., Kimia, S. T., Industri, F. T., Teknologi, I., Kimia, J. T., Teknik, F., Diponegoro, U., & Sudharto, J. P. (2025). *Evaluasi konsumsi energi dan analisis tekno-ekonomi . 10*(3), 638–661. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2025032>
- Ramdhani, R., Septianissa, S., & Rajani, A. (2025). Investigation of Drying Time and Final Moisture Content of Arabica beans in a Solar Drying Chamber. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 14(6), 2239–2249. <https://doi.org/10.23960/jtepl.v14i6.2239-2249>
- Salahuddin, A. H., Rahman, A., Ghani, O., Othman, S. I., & Mardi-upm, P. (2023). *Karakteristik pengeringan biji jagung yang dikenai teknik pengeringan berbeda. 7*(Lampiran 2), 160–166.
- Setiadi, B., Hewan, I., Ilmu, F., Diponegoro, U., & Tengah, J. (2024). *gas minyak cair. 8*(5), 24–32.
- Silva. (2020). *Mekanika dan Ilmu Termal. 1*, 115–128.
- Subagio, D. G. (2024). *Pengembangan sistem pengering surya dengan penambahan tabung phase change material tesis*.
- Survidia, M. F. L. (2022). *Kualitas fisik hasil pengeringan jagung sebagai bahan pakan menggunakan mesin. 20*(2).
- Sutanto, R., Sakke, H., Mesin, D. T., Teknik, F., & Mataram, U. (2024). *Jurnal Pijar MIPA. 1744*, 888–892.
- Tanggasari, D., & Jatnika, A. R. (2023). *Pengaruh Pengeringan Lapis Tipis Jagung (Zea mays L) sebagai Bahan Pakan dengan Suhu yang Berbeda Effect of Thin-Layer Drying of Corn (Zea mays L) as Feedstuff at Different Temperatures. 11*(1), 73–81.
- Usman. (2024). *Peningkatan Kinerja Termal Alat Pengering 76–85*. <https://doi.org/10.36499/jim.v22i1.15437>
- Yassen. (2021). *Jurnal Internasional Panas dan Teknologi. 38*(3), 1075–1080.