



OPTIMALISASI PROSES PENGERINGAN TEMBAKAU MENGGUNAKAN MESIN PENGERING BERBASIS HEAT EXCHANGER DAN SISTEM TRAY DRYING UNTUK EFISIENSI ENERGI DAN PENINGKATAN KUALITAS PRODUK DI DESA GULANG, KUDUS

Optimization of The Tobacco Drying Process Using A Heat exchanger-Based Drying Machine and Tray Drying System for Energy Efficiency and Product Quality Improvement in Gulang Village, Kudus

Dina Tauhida^{1*}, Ratri Rahmawati², Slamet Khoeron², Taufiq Hidayat², Akhmad Zidni Hudaya², Sugeng Slamet², Muhammad Luqman Saiful Fikri², Sigit Arrohman³, Rangga Primadasa¹

¹Program Studi Teknik Industri Universitas Muria Kudus, ²Program Studi Teknik Mesin Universitas Muria Kudus, ³Program Studi Teknik Mesin Universitas Jenderal Soedirman

Lingkar Utara UMK, Gondangmanis, Bae, Kudus – 59327, Jawa Tengah – Indonesia

*Alamat Korespondensi: dina.tauhida@umk.ac.id

(Tanggal Submission: 2 Mei 2026, Tanggal Accepted : 29 Juni 2026)



Kata Kunci :

Efisiensi Energi, Heat Exchanger, Pengabdian Masyarakat, Pengeringan Tembakau, Teknologi Tepat Guna

Abstrak :

Kelompok tani tembakau di Desa Gulang, Kabupaten Kudus masih menghadapi kendala pada proses pasca panen, khususnya pengeringan tembakau yang dilakukan secara konvensional sehingga membutuhkan waktu lama, konsumsi energi tinggi, dan menghasilkan mutu produk yang kurang seragam. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan efisiensi pengeringan dan kualitas tembakau melalui penerapan mesin pengering berbasis *heat exchanger*. Mesin dirancang dengan dimensi 1,2 m × 2,4 m × 1,2 m, kapasitas 16 tray, dan sistem pemanas tidak langsung (*heat exchanger*) untuk menjaga kestabilan suhu serta mencegah kontaminasi asap pembakaran pada produk. Metode pelaksanaan meliputi identifikasi kebutuhan mitra, perancangan dan manufaktur alat, sosialisasi program, pelatihan pengoperasian dan perawatan, implementasi lapangan, serta monitoring dan evaluasi melalui pengujian *before-after*. Hasil evaluasi menunjukkan penurunan waktu pengeringan dari 72,0 jam menjadi 52,2 jam (efisiensi 27,5%), penghematan konsumsi energi dari 100,0 menjadi 75,6 kWh ekuivalen (hemat 24,4%), serta peningkatan output tembakau kering dari 84,6 kg menjadi 93,6 kg per siklus (naik 10,6%). Kadar air akhir tembakau juga lebih seragam pada rentang 13–14%. Uji statistik menunjukkan perbedaan signifikan antara metode konvensional dan penggunaan mesin ($p < 0,05$). Implementasi teknologi tepat guna ini terbukti meningkatkan efisiensi pasca panen, mutu produk, serta mendukung keberlanjutan usaha tani tembakau di Desa Gulang.

Key word :	Abstract :
Appropriate Technology, Community Service, Energy Efficiency, Heat Exchanger, Tobacco Drying	Tobacco farmers in Gulang Village, Kudus Regency, face post-harvest challenges, particularly in the drying process, which is still conducted conventionally, resulting in prolonged drying time, high energy consumption, and inconsistent product quality. This community service program aimed to improve drying efficiency and tobacco quality through the implementation of a heat exchanger-based tobacco drying machine. The dryer was designed with dimensions of 1.2 m × 2.4 m × 1.2 m and equipped with 16 trays, utilizing an indirect heating system to ensure stable temperature control and prevent smoke contamination. The implementation stages included needs assessment, machine design and manufacturing, program socialization, operational and maintenance training, field implementation, and before–after performance evaluation. The results showed a reduction in drying time from 72.0 hours to 52.2 hours (27.5% efficiency improvement), energy savings from 100.0 to 75.6 kWh equivalent (24.4% reduction), and an increase in dried tobacco output from 84.6 kg to 93.6 kg per cycle (10.6% improvement). The final moisture content was more uniform at 13–14%. Statistical analysis indicated significant differences between conventional and machine-based drying methods ($p < 0.05$). The implementation of this appropriate technology effectively enhanced post-harvest efficiency, improved product quality, and supported the sustainability of smallholder tobacco farming in Gulang Village.

Panduan sitasi / citation guidance (APPA 7th edition) :

Tauhida, D., Rahmawati, R., Khoeron, S., Hidayat, T., Hudaya, A. Z., Slamet, S., Fikri, M. L. S., Arrohman, S., & Primadasa, R. (2026). Optimalisasi Proses Pengeringan Tembakau Menggunakan Mesin Pengering Berbasis Heat Exchanger dan Sistem Tray Drying Untuk Efisiensi Energi dan Peningkatan Kualitas Produk di Desa Gulang, Kudus. *Jurnal Abdi Insani*, 13(6), 954-964. <https://doi.org/10.29303/abdiinsani.v13i6.4936>

PENDAHULUAN

Sektor pertanian merupakan salah satu penopang utama perekonomian masyarakat pedesaan di Indonesia. Dalam konteks transformasi teknologi dan efisiensi produksi di era industri modern, peningkatan nilai tambah komoditas pertanian menjadi perhatian penting. Salah satu komoditas unggulan yang memiliki kontribusi ekonomi signifikan adalah tembakau (Nwigbo *et al.*, 2025; Luqman *et al.*, 2025). Kabupaten Kudus dikenal sebagai salah satu daerah dengan aktivitas produksi dan pengolahan tembakau yang cukup tinggi. Namun demikian, peningkatan produktivitas dan daya saing tembakau tidak hanya ditentukan oleh keberhasilan budidaya pra-panen, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kualitas penanganan pasca panen.

Sektor pertanian berperan penting dalam menopang perekonomian masyarakat pedesaan dan menjadi sumber pendapatan utama bagi banyak rumah tangga di Indonesia (Maula, 2024). Salah satu komoditas strategis yang memiliki nilai ekonomi tinggi adalah tembakau, khususnya di Kabupaten Kudus yang dikenal sebagai wilayah dengan aktivitas produksi dan pengolahan tembakau yang cukup intensif. Namun demikian, peningkatan daya saing komoditas tembakau tidak hanya ditentukan oleh keberhasilan budidaya pra-panen, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh kualitas penanganan pasca panen, terutama pada tahap pengeringan (Kannapadang *et al.*, 2025).

Pengeringan merupakan tahap kritis yang menentukan stabilitas kadar air, warna, aroma, dan karakteristik mutu akhir tembakau. Proses pengeringan yang tidak terkendali dapat menyebabkan ketidakteraturan kadar air dan penurunan kualitas produk, sehingga berdampak pada nilai jual (Xiao *et al.*, 2025). Studi internasional menunjukkan bahwa sistem pengeringan konvensional cenderung memiliki efisiensi energi yang rendah dan menghasilkan variasi mutu yang tinggi akibat fluktuasi suhu dan aliran udara panas. Selain itu, pengeringan tembakau termasuk proses yang intensif energi dan

menjadi komponen biaya operasional terbesar dalam rantai produksi (Calín-Sánchez *et al.*, 2020). Oleh karena itu, inovasi teknologi pengeringan yang lebih efisien dan terkendali menjadi kebutuhan mendesak untuk meningkatkan nilai tambah komoditas tembakau.

Desa Gulang, Kecamatan Mejobo, Kabupaten Kudus merupakan salah satu sentra produksi tembakau skala kelompok tani. Berdasarkan hasil observasi dan diskusi dengan mitra, proses pengeringan masih dilakukan secara konvensional dengan metode penjemuran atau pemanasan langsung yang sangat bergantung pada kondisi cuaca. Kondisi tersebut menyebabkan waktu pengeringan tidak konsisten, konsumsi energi atau bahan bakar relatif tinggi, serta kualitas tembakau yang dihasilkan kurang seragam. Keterbatasan pengetahuan dan akses terhadap teknologi pengeringan modern menjadi salah satu faktor yang menghambat peningkatan produktivitas dan efisiensi pasca panen.

Dalam literatur terkini, penggunaan sistem pemanas tidak langsung berbasis *heat exchanger*, namun juga direkomendasikan sebagai solusi untuk meningkatkan efisiensi termal dan menjaga kebersihan produk karena udara panas tidak bercampur langsung dengan asap pembakaran (Murthi *et al.*, 2025). Sistem ini memungkinkan pengendalian suhu yang lebih stabil sehingga menghasilkan mutu pengeringan yang lebih seragam dan efisien secara energi. Penerapan teknologi tepat guna berbasis *heat exchanger* pada skala kelompok tani menjadi pendekatan rasional untuk menjembatani keterbatasan teknologi tradisional dengan kebutuhan peningkatan efisiensi produksi (Alit *et al.*, 2021).

Berdasarkan permasalahan tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan mengimplementasikan mesin pengering tembakau berbasis *heat exchanger* dengan dimensi 1,2 m × 2,4 m × 1,2 m dan kapasitas 16 *tray* untuk meningkatkan efisiensi energi dan mutu hasil pengeringan. Secara khusus, kegiatan ini bertujuan: (1) meningkatkan pemahaman dan keterampilan mitra dalam pengelolaan pasca panen, (2) mengurangi konsumsi energi hingga 25%, serta (3) meningkatkan produksi tembakau kering minimal 500 kg per musim tanam. Rencana pemecahan masalah dilakukan melalui tahapan identifikasi kebutuhan, perancangan dan manufaktur alat, sosialisasi dan pelatihan pengoperasian, implementasi di lapangan, serta monitoring dan evaluasi dampak.

Selain aspek efisiensi dan kualitas produk, urgensi penerapan teknologi pengeringan yang lebih ramah lingkungan juga menjadi perhatian penting dalam konteks pembangunan pertanian berkelanjutan. Proses pengeringan konvensional umumnya menggunakan bahan bakar kayu atau sumber energi fosil secara langsung, yang berpotensi menghasilkan emisi gas rumah kaca dan partikel asap yang berdampak pada lingkungan serta kesehatan pekerja. Literatur terkini menekankan pentingnya transisi menuju sistem pengeringan yang lebih efisien secara energi dan rendah emisi melalui optimalisasi sistem perpindahan panas, pemanfaatan biomassa secara terkendali, serta penerapan pemanas tidak langsung berbasis *heat exchanger* untuk meminimalkan kehilangan energi dan emisi pembakaran (Calín-Sánchez *et al.*, 2020; Murthi *et al.*, 2025). Penggunaan sistem *heat exchanger* memungkinkan proses pembakaran berlangsung lebih terkendali dan panas yang dihasilkan dimanfaatkan secara lebih optimal tanpa kontak langsung dengan produk, sehingga tidak hanya meningkatkan efisiensi termal, tetapi juga mendukung praktik produksi yang lebih bersih (*clean production*). Dengan demikian, implementasi mesin pengering tembakau berbasis *heat exchanger* di Desa Gulang tidak hanya berorientasi pada peningkatan produktivitas, tetapi juga sejalan dengan prinsip keberlanjutan energi dan pengurangan dampak lingkungan pada skala usaha tani. Melalui pendekatan partisipatif dan berbasis teknologi tepat guna, kegiatan ini diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi teknis proses pengeringan, tetapi juga memperkuat kapasitas kelompok tani dalam mengelola usaha secara lebih produktif dan berkelanjutan, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan daya saing tembakau lokal dan penguatan ekonomi masyarakat Desa Gulang.

METODE KEGIATAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di Desa Gulang, Kecamatan Mejobo, Kabupaten Kudus dengan sasaran utama kelompok tani tembakau yang melakukan proses pasca panen secara mandiri. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan partisipatif, yaitu melibatkan mitra dalam seluruh rangkaian kegiatan mulai dari identifikasi permasalahan, perancangan teknologi tepat guna, pelatihan pengoperasian alat, implementasi di lapangan, hingga evaluasi dampak program

(Aini *et al.*, 2025). Tahap awal dilakukan melalui observasi lapangan dan wawancara dengan mitra untuk mengidentifikasi kendala utama dalam proses pengeringan tembakau, meliputi waktu pengeringan yang tidak konsisten, konsumsi energi tinggi, serta kualitas tembakau kering yang kurang seragam. Data *baseline* dikumpulkan berupa durasi pengeringan, berat tembakau basah dan kering, konsumsi bahan bakar/energi, serta kondisi mutu hasil pengeringan sebelum adanya penerapan mesin.

Teknologi tepat guna yang diterapkan dalam program ini berupa mesin pengering tembakau berbasis *heat exchanger* dengan sistem *tray drying*. Mesin pengering dirancang dengan dimensi lebar 1,2 meter, panjang 2,4 meter, dan tinggi 1,2 meter, serta dilengkapi 16 tray sebagai rak penempatan tembakau. Sistem pemanas menggunakan *heat exchanger* (pemanas tidak langsung) sehingga udara panas yang masuk ke ruang pengering tidak bercampur dengan asap pembakaran. Konsep ini bertujuan menjaga kebersihan produk, meningkatkan kestabilan suhu, serta meningkatkan efisiensi pemanfaatan energi. Untuk mendukung proses pengeringan yang merata, mesin juga dilengkapi sistem sirkulasi udara panas menggunakan blower dan ventilasi pengeluaran uap air (Lin, 2018).

Spesifikasi teknis mesin dan parameter pengeringan yang digunakan selama implementasi disajikan pada Tabel 1. Parameter tersebut menjadi acuan agar proses pengeringan berlangsung stabil dan sesuai kebutuhan mutu tembakau kering.

Tabel 1. Parameter Teknis Mesin Pengering Tembakau Berbasis *Heat Exchanger*

Parameter	Spesifikasi / Nilai
Dimensi mesin	1,2 m × 2,4 m × 1,2 m
Kapasitas tray	16 tray
Sistem pengeringan	<i>Tray drying</i> (rak bertingkat)
Sistem pemanas	<i>Heat exchanger</i> (pemanas tidak langsung)
Rentang suhu operasi	45–60 °C
Suhu target pengeringan	50–55 °C
Sistem aliran udara	Sirkulasi paksa (<i>blower</i>)
Sumber panas	Biomassa/kayu bakar (melalui <i>heat exchanger</i>)
Kadar air awal tembakau	70–80% (basah)
Kadar air target akhir	12–15%
Durasi pengeringan	40–55 jam per siklus
Parameter mutu produk	warna, aroma, dan keseragaman kadar air
Sistem kontrol suhu	monitoring termometer dan ventilasi

Setelah mesin selesai dirakit, dilakukan sosialisasi program kepada mitra untuk menjelaskan tujuan, manfaat teknologi, serta prosedur penggunaan alat. Tahap ini dilanjutkan dengan pelatihan operasional dan perawatan mesin, meliputi cara menata tembakau pada *tray*, pengaturan suhu target, prosedur keamanan kerja, pembersihan *heat exchanger*, serta pengecekan blower dan ventilasi. Penempatan Gambar 1 dilakukan setelah uraian desain alat untuk menunjukkan skematik mesin pengering berbasis *heat exchanger* yang diterapkan.

MESIN PENGERING TEMBAKAU



Gambar 1. Skematik Mesin Pengering Tembakau Berbasis *Heat Exchanger* dengan Sistem *Tray Drying* 16 Tray

Implementasi lapangan dilakukan melalui pengujian pengeringan pada beberapa siklus produksi dengan membandingkan metode konvensional (*before*) dan metode menggunakan mesin (*after*). Pengujian dilakukan sebanyak lima siklus pengeringan untuk masing-masing metode agar diperoleh data yang cukup stabil. Parameter yang diukur pada setiap siklus meliputi waktu pengeringan (jam), konsumsi energi/bahan bakar (kWh ekuivalen), *output* tembakau kering (kg), serta kadar air akhir (%). Pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung, pencatatan log pengeringan, pengukuran suhu ruang, penimbangan berat tembakau sebelum dan sesudah pengeringan, serta dokumentasi kegiatan. Tahapan metode pelaksanaan beserta *output* tiap tahap disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Tahapan Pelaksanaan Program Pengabdian dan Luaran Tiap Tahap

Tahap	Kegiatan Utama	Output
Identifikasi masalah	observasi, wawancara, pencatatan baseline	data awal waktu pengeringan, konsumsi energi, mutu produk
Perancangan alat	desain ruang pengering dan <i>heat exchanger</i>	gambar desain dan spesifikasi alat
Manufaktur alat	perakitan ruang pengering, <i>tray</i> , <i>blower</i> , <i>heat exchanger</i>	mesin pengering siap operasional
Sosialisasi program	penyampaian tujuan, manfaat, peran mitra	mitra memahami konsep teknologi dan target program
Pelatihan operasional	pelatihan penggunaan, kontrol suhu, keselamatan	mitra mampu mengoperasikan alat
Pelatihan perawatan	pembersihan alat, pengecekan komponen	mitra mampu melakukan perawatan rutin
Implementasi lapangan	pengeringan tembakau dengan mesin	data kinerja <i>before–after</i>
Monitoring evaluasi	pengukuran hasil, wawancara kepuasan	laporan dampak program dan keberlanjutan

Analisis data dilakukan secara kuantitatif menggunakan statistik deskriptif (rata-rata dan standar deviasi) serta analisis perbandingan *before–after*. Efisiensi energi dihitung menggunakan persentase penurunan konsumsi energi sebelum dan sesudah penerapan mesin. Efisiensi waktu dihitung berdasarkan penurunan durasi pengeringan per siklus. Produktivitas pengeringan dihitung sebagai rasio *output* tembakau kering terhadap waktu pengeringan. Untuk memperkuat validitas hasil, dilakukan uji statistik sederhana menggunakan uji t berpasangan (*paired sample t-test*), karena pengukuran dilakukan pada mitra yang sama sebelum dan sesudah penerapan teknologi. Taraf signifikansi yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$. Jika *p-value* < 0,05 maka perbedaan sebelum dan sesudah penerapan mesin dinyatakan signifikan secara statistik (Wang *et al.*, 2023; Zhu *et al.*, 2024).

Data hasil uji lapangan kemudian disusun dalam bentuk tabel perbandingan kinerja sebelum dan sesudah penerapan teknologi. Contoh format tabel evaluasi yang digunakan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Komparasi Kinerja Pengeringan Tembakau Sebelum dan Sesudah Penerapan Mesin

Siklus	Metode	Waktu Pengeringan (jam)	Konsumsi Energi (kWh ekuivalen)	Output Kering (kg)	Kadar Air Akhir (%)
1	Konvensional	72	98	85	18
2	Konvensional	70	102	83	19
3	Konvensional	74	100	86	18
4	Konvensional	71	99	84	19
5	Konvensional	73	101	85	18
1	Mesin (TTG)	52	76	92	14
2	Mesin (TTG)	50	74	94	13
3	Mesin (TTG)	55	77	93	14
4	Mesin (TTG)	51	75	95	13
5	Mesin (TTG)	53	76	94	14

Berdasarkan Tabel 3, diperoleh rata-rata waktu pengeringan metode konvensional sebesar 72 jam, sedangkan menggunakan mesin pengering berbasis *heat exchanger* menurun menjadi rata-rata 52,2 jam. Konsumsi energi rata-rata juga menurun dari 100 kWh ekuivalen menjadi 75,6 kWh ekuivalen atau mengalami penghematan sekitar 24,4%. Hasil ini mendekati target efisiensi energi program sebesar 25%. Selain itu, kadar air akhir lebih seragam pada rentang 13–14%, sedangkan metode konvensional masih berada pada 18–19%. Output tembakau kering juga meningkat dari rata-rata 84,6 kg menjadi 93,6 kg per siklus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil implementasi mesin pengering tembakau berbasis *heat exchanger* di Desa Gulang, Kabupaten Kudus, serta pembahasan dampaknya terhadap efisiensi proses pasca panen dan peningkatan mutu produk. Hasil disajikan dalam bentuk data kuantitatif dan deskriptif yang diperoleh dari pengujian sebelum dan sesudah penerapan teknologi (*before–after*), meliputi parameter waktu pengeringan, konsumsi energi, output tembakau kering, dan kadar air akhir. Pembahasan dilakukan dengan menginterpretasikan temuan secara logis, mengaitkannya dengan referensi ilmiah yang relevan, serta menjelaskan implikasi program terhadap peningkatan produktivitas dan keberlanjutan usaha tani mitra.

1. Capaian Implementasi dan Penerimaan Teknologi oleh Mitra

Program pengabdian difokuskan pada penerapan mesin pengering tembakau berbasis *heat exchanger* dengan sistem *tray drying* 16 *tray* untuk mengatasi kendala pengeringan konvensional yang tidak stabil, boros energi, dan menghasilkan kualitas tembakau yang kurang seragam. Setelah kegiatan

sosialisasi dan pelatihan, mitra mampu menjalankan prosedur operasional standar (penataan tembakau pada *tray*, pengaturan suhu target, sirkulasi udara, serta pelepasan uap air) dan melakukan perawatan rutin (pembersihan ruang pengering dan pengecekan sistem aliran udara). Dokumentasi kegiatan pelatihan dan pendampingan disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Sosialisasi Program dan Pelatihan Pengoperasian/ Perawatan Mesin Pengering Tembakau kepada Mitra

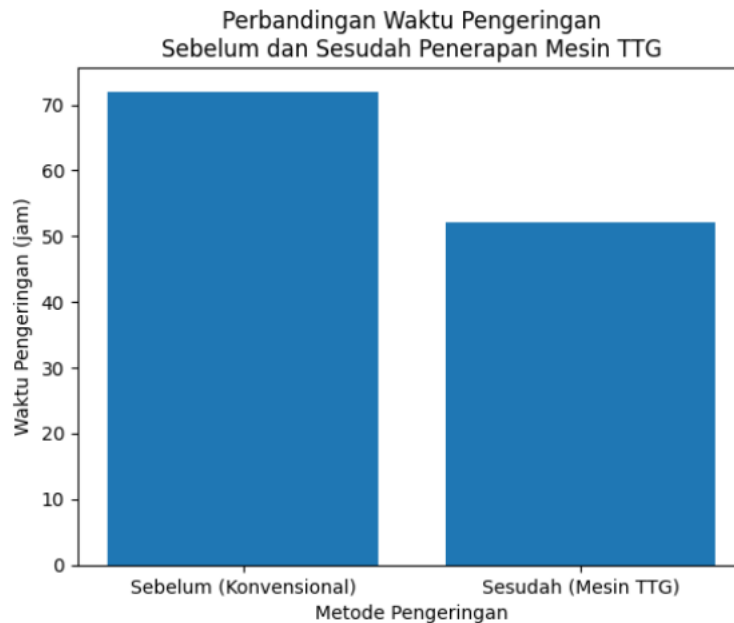
Secara umum, penerimaan mitra terhadap teknologi tergolong baik karena mesin mudah dioperasikan, proses pengeringan lebih terprediksi, serta hasil tembakau lebih seragam. Temuan ini relevan dengan pendekatan pengabdian berbasis teknologi tepat guna, di mana keberhasilan tidak hanya diukur dari kinerja alat, tetapi juga dari keterampilan mitra dalam mengoperasikan dan merawat alat secara mandiri.

2. Perbandingan Kinerja Pengeringan Sebelum dan Sesudah Penerapan Mesin

Evaluasi kinerja dilakukan melalui pengujian *before–after* pada lima siklus pengeringan untuk metode konvensional dan lima siklus untuk mesin pengering. Data komparasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Komparasi Kinerja Pengeringan Tembakau Sebelum dan Sesudah Penerapan Mesin

Siklus	Metode	Waktu Pengeringan (jam)	Konsumsi Energi (kWh ekuivalen)	Output Kering (kg)	Kadar Air Akhir (%)
1	Konvensional	72	98	85	18
2	Konvensional	70	102	83	19
3	Konvensional	74	100	86	18
4	Konvensional	71	99	84	19
5	Konvensional	73	101	85	18
1	Mesin (TTG)	52	76	92	14
2	Mesin (TTG)	50	74	94	13
3	Mesin (TTG)	55	77	93	14
4	Mesin (TTG)	51	75	95	13
5	Mesin (TTG)	53	76	94	14



Gambar 3. Perbandingan Waktu Pengeringan dan Konsumsi Energi Sebelum dan Sesudah Penerapan Mesin Pengering Tembakau Berbasis *Heat Exchanger*

Pada Gambar 3. menunjukkan perbandingan waktu pengeringan sebelum (metode konvensional) dan sesudah penerapan mesin berbasis Teknologi Tepat Guna (TTG). Terlihat bahwa penggunaan mesin TTG mampu menurunkan waktu pengeringan dari rata-rata 72 jam menjadi kisaran 52 jam, menunjukkan peningkatan efisiensi proses pengeringan. Hasil pengujian sebelum dan sesudah selanjutnya dianalisis menggunakan uji t berpasangan untuk mengetahui signifikansi perubahan. Uji statistik dilakukan pada parameter waktu pengeringan, konsumsi energi, serta *output* tembakau kering. Nilai *p-value* yang diperoleh menjadi dasar bahwa peningkatan kinerja yang terjadi bukan hanya akibat variasi acak, tetapi merupakan dampak nyata dari penerapan teknologi tepat guna. Dengan demikian, metode evaluasi program ini tidak hanya mengukur keberhasilan teknis, namun juga mendukung validitas ilmiah artikel pengabdian masyarakat melalui pendekatan kuantitatif (Soedarto *et al.*, 2025).

Untuk memperjelas perbedaan kinerja, ringkasan statistik deskriptif (rata-rata $\pm$ SD) ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Ringkasan Statistik Deskriptif Before–After (n = 5 Siklus per Metode)

Parameter	Konvensional (Mean $\pm$ SD)	Mesin (Mean $\pm$ SD)	Perubahan (%)
Waktu pengeringan (jam)	72,0 $\pm$ 1,58	52,2 $\pm$ 1,92	↓ 27,5
Konsumsi energi (kWh ekuivalen)	100,0 $\pm$ 1,58	75,6 $\pm$ 1,14	↓ 24,4
Output kering (kg/siklus)	84,6 $\pm$ 1,14	93,6 $\pm$ 1,14	↑ 10,6
Kadar air akhir (%)	18,4 $\pm$ 0,55	13,6 $\pm$ 0,55	↓ 26,1

Secara operasional, mesin pengering menurunkan durasi pengeringan dari rata-rata 72,0 jam menjadi 52,2 jam (efisiensi waktu 27,5%). Penurunan durasi ini penting bagi mitra karena mempercepat siklus produksi dan mengurangi risiko kerusakan produk saat cuaca tidak mendukung. Konsumsi energi turun dari 100,0 menjadi 75,6 kWh ekuivalen (penghematan 24,4%), mendekati target program 25%. Hasil ini sejalan dengan temuan literatur bahwa optimasi sistem pemanas dan pemisahan panas pembakaran melalui pemanas tidak langsung dapat menekan kehilangan energi dan meningkatkan efisiensi termal (Li *et al.*, 2023; Liu *et al.*, 2024; Zhang *et al.*, 2025).

3. Peningkatan Mutu dengan Keseragaman Kadar Air dan Stabilitas Proses

Selain efisiensi energi, indikator mutu yang menonjol adalah kadar air akhir yang lebih seragam. Metode konvensional menghasilkan kadar air akhir 18–19%, sedangkan mesin pengering mampu mencapai 13–14% yang lebih konsisten dan dekat dengan target mutu pengeringan. Keseragaman kadar air ini penting untuk menjaga stabilitas mutu (warna/ aroma) serta menekan risiko pertumbuhan mikroba pada penyimpanan.

Dari sisi proses, penggunaan suhu target yang lebih terkendali (misalnya 50–55°C) dan aliran udara yang stabil membantu memperbaiki kinetika pengeringan dan difusi kelembapan daun tembakau, sebagaimana ditekankan dalam kajian pengeringan berbasis *hot-air drying* pada tembakau (Wang *et al.*, 2024). Selain itu, sistem *heat exchanger* mengurangi paparan asap pembakaran pada produk sehingga lebih higienis dan mendukung praktik produksi yang lebih bersih.

4. Dampak terhadap Produktivitas Pengeringan dan Potensi Peningkatan Pendapatan

Implementasi mesin pengering meningkatkan output kering dari rata-rata 84,6 kg menjadi 93,6 kg per siklus (kenaikan 10,6%). Kenaikan output ini dapat dipahami karena proses pengeringan yang lebih stabil menurunkan risiko tembakau tidak kering merata atau mengalami penurunan mutu sehingga susut/ penolakan berkurang.

Untuk menunjukkan implikasi ekonomi secara sederhana (khas artikel pengabdian), berikut simulasi konservatif berbasis data Tabel 4:

- Penghematan energi per siklus = $(100,0 - 75,6) = 24,4$ kWh ekuivalen
Jika tarif energi/ekuivalen biaya energi diasumsikan Rp 1.500/kWh, maka penghematan $\approx$ Rp 36.600/siklus.
- Tambahan output per siklus = $(93,6 - 84,6) = 9,0$ kg
Jika harga tembakau kering diasumsikan Rp 35.000/kg, maka tambahan pendapatan kotor $\approx$ Rp 315.000/siklus.

Dengan demikian, total manfaat ekonomi langsung (konservatif) $\approx$ Rp 351.600 per siklus (tambahan output + hemat energi). Hal tersebut terlihat bahwa teknologi yang dibuat tidak hanya “berfungsi”, tetapi juga berpotensi meningkatkan pendapatan mitra.

5. Analisis Statistik Sederhana untuk Memperkuat Bukti Dampak

Untuk memastikan perbedaan *before–after* tidak terjadi karena variasi acak, dilakukan uji t berpasangan pada parameter utama ($n = 5$ siklus). Hasil uji statistik ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Uji t Berpasangan (Paired t-test) Before–after ($\alpha = 0,05$)

Parameter	t	p-value	Keterangan
Waktu pengeringan (jam)	99,00	$6,24 \times 10^{-8}$	signifikan
Konsumsi energi (kWh ekuivalen)	23,70	$1,88 \times 10^{-5}$	signifikan
Output kering (kg/siklus)	10,06	$5,49 \times 10^{-4}$	signifikan
Kadar air akhir (%)	9,80	$6,08 \times 10^{-4}$	signifikan

Berdasarkan hasil pada Tabel 6., nilai p-value seluruh parameter $< 0,05$, sehingga dapat disimpulkan terdapat perbedaan yang signifikan antara metode konvensional dan penggunaan mesin pengering.

6. Implikasi Keberlanjutan Energi dan Lingkungan

Dari sisi keberlanjutan, penghematan energi mencapai 24,4% sehingga menunjukkan adanya efisiensi pemanfaatan panas yang lebih baik. Sistem *heat exchanger* juga mengarahkan proses pemanasan menjadi lebih terkendali dan mengurangi risiko kontaminasi asap ke produk. Hal ini sejalan dengan kecenderungan riset terkini yang menekankan pengeringan dengan lebih efisien dan lebih bersih (*clean production*) melalui optimasi sistem pemanas dan manajemen energi (Liu *et al.*, 2024;

Zhang *et al.*, 2025). Dengan demikian, dampak program tidak hanya bersifat teknis-ekonomis, tetapi juga mendukung praktik pasca panen yang lebih ramah lingkungan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini berhasil menjawab permasalahan mitra terkait proses pengeringan tembakau yang belum efisien dan kurang stabil melalui implementasi mesin pengering tembakau berbasis *heat exchanger* berukuran 1,2 m × 2,4 m × 1,2 m dengan kapasitas 16 tray. Hasil evaluasi menunjukkan adanya peningkatan kinerja pengeringan secara signifikan, ditandai dengan penurunan waktu pengeringan sebesar 27,5%, penghematan konsumsi energi sebesar 24,4%, peningkatan output tembakau kering sebesar 10,6% per siklus, serta kadar air akhir yang lebih seragam pada rentang 13–14%. Uji statistik menunjukkan perbedaan yang signifikan antara metode konvensional dan penggunaan mesin ($p < 0,05$), sehingga peningkatan tersebut merupakan dampak nyata dari penerapan teknologi tepat guna. Selain meningkatkan efisiensi pasca panen dan mutu produk, program ini juga meningkatkan kapasitas mitra dalam pengoperasian serta perawatan alat secara mandiri sehingga mendukung keberlanjutan pemanfaatan teknologi. Pengembangan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dapat diarahkan pada penerapan kontrol suhu otomatis, optimalisasi pemanfaatan energi biomassa, serta integrasi sensor kadar air untuk meningkatkan presisi dan efektivitas proses pengeringan pada skala produksi yang lebih besar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Muria Kudus yang telah memberikan dukungan dan fasilitasi sehingga kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dapat terlaksana dengan baik. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kelompok Tani Tembakau Desa Gulang, Kecamatan Mejobo, Kabupaten Kudus atas kerja sama, partisipasi aktif, serta kontribusi selama pelaksanaan kegiatan, mulai dari tahap sosialisasi, pelatihan, implementasi alat, hingga evaluasi program.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N., Safitri, K. N., Fole, A., & Fikri, M. L. S. (2025). Penyuluhan Perbaikan Postur Kerja untuk Para Pekerja pada UMKM Pengolahan Kedelai Menggunakan Pendekatan Ergonomi. *Jurnal ANDARA (Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 2(1), 21–27. <https://doi.org/10.70608/dkxx3a70>
- Alit, I. B., Susana, I. G. B., & Mara, I. M. (2021). Thermal Characteristics of the Dryer with Rice Husk Double Furnace-Heat Exchanger for Smallholder Scale Drying. *Case Studies in Thermal Engineering*, 28, Article 101565. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2021.101565>
- Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Figiel, A. (2020). Comparison of Traditional and Novel Drying Techniques and Its Effect on Quality of Fruits, Vegetables and Aromatic Herbs. *Foods*, 9(9), Article 1261. <https://doi.org/10.3390/foods9091261>
- Kannapadang, S., Oktafianus, S., Karuru, S. S., & Kannapadang, D. (2025). Sosialisasi Pengembangan Tanaman Tembakau dan Penerapan Teknis Budidaya Tembakau untuk Peningkatan Produktivitas Petani di Sumalu Lembang Rantebua. *Indonesian Journal of Engagement, Community Services, Empowerment and Development*, 5(3), 629–634. <https://doi.org/10.53067/ijecsed.v5i3.235>
- Lin, J. L. (2018). Development of a Dryer with A Heat Exchanger to Recover Energy for Drying Agricultural Produce. *Proceedings of Engineering and Technology Innovation*, 10, 1–7.
- Maula, I. M. (2024). Impact Digital Transformation in Agricultural Product Marketing in Increase Sustainability Economy Village. *Journal of Agricultural Economy and Technology Development*, 1(1), 10–17. <https://doi.org/10.59261/jaetd.v1i1.2>
- Mulyono, S., Fikri, M. L. S., Saleh, Y. K. P., Zaenudin, M., Gamayel, A., Priadi, U. Z., Jujur, I., & Triwiyanto, A. (2025). Perancangan dan Pembangunan Biopond Untuk Budidaya Maggot. *Jurnal ANDARA (Pengabdian Kepada Masyarakat)*, 2(1), 1–4. <https://doi.org/10.70608/2h5r1p98>

- Murthi, M. K., Munimathan, A., Kareemullah, M., & Khan, T. M. Y. (2025). Experimental Analysis and Optimization of an Indirect Solar Dryer Integrated with Heat Exchanger for Enhanced Exhaust Air Utilization. *Case Studies in Thermal Engineering*, 75, Article 107101. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.107101>
- Nwigbo, O. E., Nwoko, C. C., Emerie, S. F., & Onyenanu, I. U. (2025). Optimizing Agricultural Drying Technologies: A Systematic Review of Charcoal, Gas, and Hybrid Kilns for Sustainable Food Preservation. *Journal of Sustainable Engineering & Renewable Energy*, 1(1), 37–51. <https://doi.org/10.54536/jsere.v1i1.5038>
- Soedarto, T., Issafira, R. D., & Prabiantissa, C. N. (2025). Development of An Efficient Tobacco Drying Machine and Digital Marketing Integration for Enhanced Production and Market Expansion. *Nusantara Science and Technology Proceedings*, 714–717. <https://doi.org/10.11594/nstp.2025.47106>
- Wang, J., Zhang, H., Sun, Y., Zhang, C., Tan, G., Yi, B., Wu, Y., Kong, G., Wen, X., Chen, J., Wu, Y., Tang, J., & Zhao, G. (2023). Study on Cut Tobacco Drying Process Based on HS-GC/MS: Principal Component Analysis, Similarity Analysis, Drying Conditions, and Drying Mechanism. *Journal of Chemistry*, 2023, Article 5772916. <https://doi.org/10.1155/2023/5772916>
- Xiao, G., Wang, L., Pan, T., Chen, Z., Yu, L., Wang, H., Min, T., Xiao, A., Zhou, M., Guo, J., Tan, X., & Shao, S. (2025). Insights Into Tobacco Leaf Quality Deterioration Under Long-term Storage by Investigating Dynamic Phytochemical and Metabolite Profile Variations. *BMC Plant Biology*, 25, Article 611. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06375-3>
- Zhu, W., Zhou, B., Duan, K., Huang, D., Han, L., Zhang, R., Wen, W., Wang, B., & Li, B. (2024). Characterization of Moisture Migration and Diffusion in Two Types of Tobacco Biomass During the Dehydration Process by the TG-NMR Analysis. *Frontiers in Chemistry*, 12, Article 1367139. <https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1367139>