

Uji Technology Readiness Level Sistem Destilasi Uap dan Pengering (DryStilla) Terintegrasi Berbasis Kendali Elektronik

Sarah Dien Hawa¹, Rizki Noor Prasetyono², Achmad Syauqi³, Syaiful Prayogi⁴

¹Manajemen/Universitas Peradaban, Indonesia

²Teknik Elektro/Universitas Peradaban, Indonesia

³Sistem Informasi/Universitas Peradaban, Indonesia

⁴Farmasi/Universitas Peradaban, Indonesia

Article Info

Article history:

Received: 29 Juli 2025

Received in revised form: 19 Agustus 2025

Accepted: 22 Agustus 2025

Available online: 30 Agustus 2025

Keywords:

DryStilla
Cardamom
Steam distillation
Drying system
Electronic Control

Kata Kunci:

DryStilla
Kapulaga
Destilasi uap
Pengering
Kendali Elektronik

ABSTRACT

TECHNOLOGY READINESS LEVEL TEST OF INTEGRATED STEAM DISTILLATION AND DRYING SYSTEM (DRYSTILLA) BASED ON ELECTRONIC CONTROL.

Cardamom is a high-value spice commodity with significant potential as a raw material for essential oil production; however, its utilization at the village-farmer level remains dominated by the sale of raw materials due to limited postharvest technology. This study aims to experimentally evaluate the performance and Technology Readiness Level (TRL) of DryStilla, an integrated steam distillation and drying system specifically designed for small-scale, village-based cardamom processing. The research employs an engineering-based experimental method through field testing in a real operational environment at the Cardamom Berkarya Farmer Group in Karangkemiri Village. The evaluation focuses on technical performance, operational efficiency, essential oil yield, system stability, and initial economic impacts. The experimental results indicate that DryStilla reduces drying time from 2–3 days to 6–8 hours, increases essential oil yield by more than 50% (approximately 3.0–3.5%), and significantly reduces the loss of volatile compounds compared to conventional methods. The integrated drying and steam distillation system also improves energy efficiency, operational simplicity, and suitability for village-scale production. TRL assessment shows that DryStilla has achieved TRL levels 7–8, indicating that the system has been successfully demonstrated and operates stably in a real operational environment. These findings demonstrate that DryStilla has strong potential as an appropriate postharvest technology to support cardamom downstream processing, enhance product value, and strengthen the economic independence of rural farmers.

Kapulaga merupakan komoditas rempah bernilai ekonomi tinggi dengan potensi besar sebagai bahan baku minyak atsiri, namun pemanfaatannya di tingkat petani desa masih didominasi penjualan bahan mentah akibat keterbatasan teknologi pascapanen. Penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja dan tingkat kesiapan teknologi (*Technology Readiness Level/TRL*) DryStilla, yaitu alat destilator uap dan pengering terintegrasi yang dirancang khusus untuk pengolahan pascapanen kapulaga skala desa. Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimental berbasis rekayasa melalui pengujian lapangan (*experimental field testing*) pada lingkungan operasional nyata Kelompok Tani Kapulaga Berkarya di Desa Karangkemiri. Evaluasi dilakukan terhadap kinerja teknis, efisiensi operasional, rendemen minyak atsiri, stabilitas sistem, serta dampak ekonomi awal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa DryStilla mampu mempersingkat waktu pengeringan dari 2–3 hari menjadi 6–8 jam, meningkatkan rendemen minyak atsiri lebih dari 50% ($\pm 3.0\text{--}3.5\%$), serta menurunkan kehilangan senyawa volatil dibandingkan metode konvensional. Integrasi sistem pengeringan dan destilasi juga meningkatkan efisiensi energi, kemudahan pengoperasian, dan kesesuaian dengan kondisi produksi desa. Evaluasi TRL menunjukkan bahwa teknologi DryStilla telah mencapai TRL 7–8, yang menandakan sistem telah teruji dan beroperasi stabil pada lingkungan nyata. Penelitian ini membuktikan bahwa DryStilla berpotensi menjadi teknologi tepat guna untuk mendukung hilirisasi kapulaga, meningkatkan nilai tambah produk, serta memperkuat kemandirian ekonomi petani di wilayah pedesaan.

Corresponding author:

Sarah Dien Hawa

Manajemen/Universitas Peradaban

Pagojengan, Brebes, Jawa Tengah

E-mail addresses: sdienhawa90@gmail.com

1. Pendahuluan

Kapulaga merupakan salah satu komoditas rempah bernilai ekonomi tinggi yang memiliki potensi besar sebagai bahan baku industri minyak atsiri [1], [2]. Kandungan senyawa volatil pada kapulaga menjadikannya bernilai strategis untuk industri pangan, farmasi, kosmetik, dan aromaterapi [3], [4]. Namun, pada praktiknya, pemanfaatan kapulaga di tingkat petani masih didominasi oleh penjualan dalam bentuk mentah atau setengah kering, sehingga nilai tambah yang dihasilkan relatif rendah.

Fenomena yang banyak terjadi di wilayah produksi kapulaga skala desa adalah ketidakseimbangan antara potensi sumber daya alam dan kemampuan teknologi pascapanen. Sebagian besar petani masih mengandalkan

metode pengeringan konvensional dan tidak memiliki akses terhadap teknologi destilasi uap yang efisien. Akibatnya, kandungan minyak atsiri yang seharusnya menjadi sumber nilai ekonomi utama tidak dimanfaatkan secara optimal. Selain itu, proses pascapanen yang terpisah antara pengeringan dan destilasi menyebabkan: (1) inefisiensi energi dan waktu proses, (2) penurunan kualitas minyak atsiri akibat degradasi termal, (3) tingginya kehilangan senyawa volatil selama pengeringan, (3) rendahnya konsistensi hasil produksi [5], [6], [7]. Kondisi ini menunjukkan bahwa permasalahan utama bukan hanya pada ketersediaan bahan baku, melainkan pada keterbatasan teknologi terapan yang sesuai dengan lingkungan operasional petani.

Berbagai penelitian sebelumnya telah membahas teknologi destilasi uap dan sistem pengering bahan pertanian [8]. Namun, sebagian besar penelitian tersebut hanya dilakukan pada skala laboratorium, beberapa penlit terdahulu hanya menguji sistem destilasi dan pengeringan secara terpisah dan belum menguji teknologi pada lingkungan operasional nyata [9], [10]. Selanjutnya penelitian terdahulu tidak mengevaluasi tingkat kesiapan teknologi (*Technology Readiness Level/TRL*) secara sistematis. Dengan demikian, terdapat kesenjangan penelitian yang signifikan, yaitu minimnya studi eksperimental yang menguji kinerja dan kesiapan teknologi destilasi uap dan pengering terintegrasi pada kondisi produksi riil skala desa. Padahal, pengujian pada lingkungan operasional nyata merupakan syarat penting untuk memastikan bahwa suatu teknologi tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga siap untuk diadopsi dan direplikasi [11], [12].

Untuk menjawab permasalahan tersebut, dikembangkan DryStilla, yaitu alat destilator uap dan pengering terintegrasi yang dirancang khusus untuk pengolahan pascapanen kapulaga. Integrasi kedua proses utama pengeringan dan destilasi dalam satu sistem diharapkan mampu: (1) meningkatkan efisiensi energi, (2) mengurangi kehilangan minyak atsiri, (3) menjaga stabilitas kualitas produk, (4) Meningkatkan nilai tambah ekonomi. Namun, sebelum teknologi ini dapat diadopsi secara luas, diperlukan pengujian eksperimental yang komprehensif untuk memastikan bahwa DryStilla mampu beroperasi secara stabil dan andal pada lingkungan pengguna akhir.

DryStilla merupakan inovasi teknologi pascapanen yang dirancang untuk mengintegrasikan dua proses utama pengolahan kapulaga, yaitu pengeringan bahan baku dan destilasi uap minyak atsiri, ke dalam satu sistem terpadu. Berbeda dengan teknologi konvensional yang memisahkan kedua proses tersebut, DryStilla mengadopsi pendekatan sistem terintegrasi untuk meningkatkan efisiensi energi, stabilitas proses, serta kualitas hasil produksi. Secara teknis, DryStilla bekerja dengan memanfaatkan sumber panas yang sama untuk proses pengeringan dan destilasi uap. Integrasi ini memungkinkan pemanfaatan energi secara lebih optimal, mengurangi kehilangan senyawa volatil selama pengeringan, serta menjaga karakteristik kimia minyak atsiri kapulaga [13], [14]. Dari perspektif rekapayasa, pendekatan ini menunjukkan keunggulan dalam hal efisiensi proses, kesederhanaan operasional, dan kesesuaian dengan skala usaha kecil–menengah.

Keunggulan utama DryStilla tidak hanya terletak pada aspek teknis, tetapi juga pada desainnya yang adaptif terhadap lingkungan operasional desa, sehingga dapat dioperasikan oleh kelompok tani dengan tingkat literasi teknologi yang terbatas. Hal ini menjadikan DryStilla sebagai teknologi tepat guna yang relevan dengan kebutuhan riil masyarakat desa Karangkemiri. Sebelum penerapan DryStilla, Kelompok Tani Kapulaga Berkarya di Desa Karangkemiri umumnya menjual kapulaga dalam bentuk mentah atau kering secara konvensional. Pola produksi tersebut menyebabkan rendahnya nilai tambah, tingginya ketergantungan pada tengkulak, serta fluktuasi harga yang tidak menguntungkan petani [15], [16].

Penerapan DryStilla mengubah pola produksi kelompok tani dari penjualan bahan mentah menjadi pengolahan berbasis hilirisasi. Dengan kemampuan menghasilkan kapulaga kering berkualitas dan minyak atsiri, kelompok tani memperoleh diversifikasi produk, dari satu komoditas menjadi beberapa produk bernilai tambah [17]. Adanya DryStilla diharapkan meningkatkan kemandirian produksi, karena proses pascapanen dapat dilakukan secara mandiri yang akan meningkatkan pendapatan, seiring meningkatnya nilai jual produk. Perubahan ini menunjukkan bahwa DryStilla berfungsi tidak hanya sebagai alat produksi, tetapi juga sebagai instrumen transformasi sistem usaha tani, dari subsisten menuju usaha berbasis nilai tambah.

Dari sisi sosial ekonomi, implementasi DryStilla memberikan dampak yang signifikan bagi Desa Karangkemiri. Pertama, peningkatan nilai tambah produk kapulaga berkontribusi langsung terhadap peningkatan pendapatan rumah tangga petani. Peningkatan pendapatan ini berpotensi memperkuat ketahanan ekonomi desa, khususnya pada wilayah yang sebelumnya tergolong desa prioritas kemiskinan ekstrem. Kehadiran teknologi DryStilla mendorong penciptaan aktivitas ekonomi baru, seperti kegiatan pengolahan pascapanen, pengemasan produk dan pemasaran minyak atsiri. Aktivitas tersebut membuka peluang keterlibatan kelompok lain di desa, termasuk kelompok perempuan dan pemuda, sehingga memperluas dampak sosial teknologi secara inklusif. Penerapan DryStilla berkontribusi pada peningkatan kapasitas sumber daya manusia. Proses pelatihan dan pendampingan penggunaan alat meningkatkan keterampilan teknis masyarakat desa, sekaligus memperkuat kepercayaan diri petani dalam mengelola teknologi modern. Hal ini menjadi fondasi penting bagi keberlanjutan inovasi teknologi di tingkat desa.

Secara lebih luas, DryStilla berperan sebagai instrumen penghubung antara inovasi teknologi perguruan tinggi dan kebutuhan nyata masyarakat desa. Teknologi ini membantu mengurangi kesenjangan teknologi (*technology gap*) yang selama ini menjadi hambatan utama dalam pengembangan ekonomi pedesaan. Dengan

meningkatnya kapasitas produksi dan nilai ekonomi kapulaga, Desa Karangkemiri tidak hanya berperan sebagai pemasok bahan mentah, tetapi juga sebagai produsen produk bernilai tambah. Transformasi ini sejalan dengan konsep pembangunan berbasis hilirisasi dan ekonomi lokal berkelanjutan.

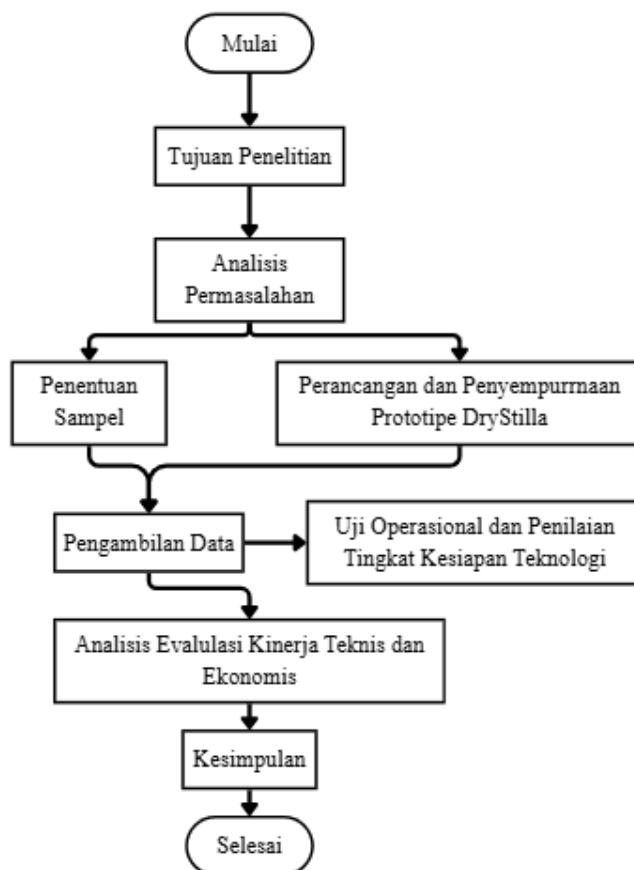
Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini difokuskan pada pengujian eksperimental kinerja dan tingkat kesiapan teknologi (TRL) DryStilla pada lingkungan operasional nyata. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah berupa: (1) validasi eksperimental teknologi pascapanen terintegrasi, (2) evaluasi kesiapan teknologi berbasis TRL, (3) dasar teknis untuk hilirisasi dan replikasi teknologi DryStilla. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengembangan teknologi pascapanen, tetapi juga memperkuat jembatan antara inovasi rekayasa dan kebutuhan nyata di lapangan.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental berbasis rekayasa (*engineering experimental research*) yang bertujuan untuk mengembangkan, menguji kinerja, dan mengevaluasi tingkat kesiapan teknologi (*Technology Readiness Level/TRL*) dari alat destilator uap dan pengering terintegrasi DryStilla pada lingkungan operasional nyata [18], [19].

2.1. Desain Penelitian

Desain penelitian yang digunakan adalah *experimental field testing*, yaitu pengujian langsung prototipe DryStilla pada kondisi produksi riil petani kapulaga skala desa [20]. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa kinerja teknologi tidak hanya valid secara laboratorium, tetapi juga stabil dan andal pada lingkungan pengguna akhir. Berikut gambar 1 merupakan tahapan penelitian.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

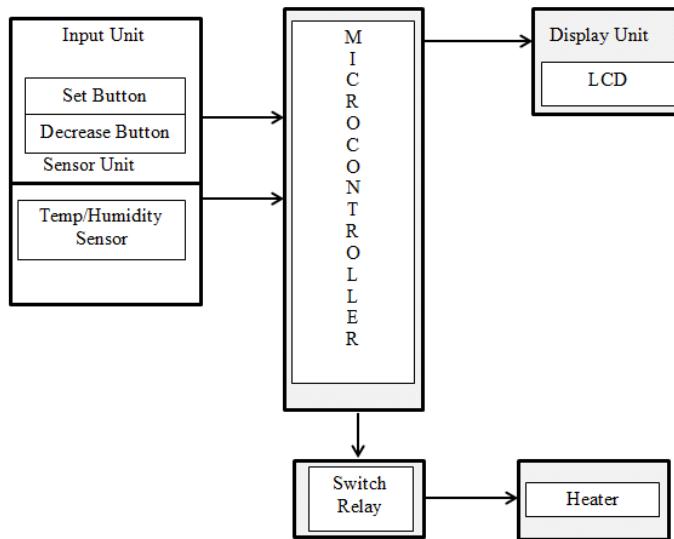
Objek penelitian adalah alat DryStilla, yaitu sistem terintegrasi yang menggabungkan Destilasi uap (*steam distillation*) Sistem pengering bahan baku pascapanen. Penelitian dilaksanakan di lingkungan produksi petani kapulaga, yang merepresentasikan lingkungan operasional sebenarnya (*operational environment*) untuk teknologi pascapanen skala kecil-menengah. Pengembangan DryStilla dilakukan secara bertahap sebagai berikut:

1. Tahap Perancangan

Penyusunan desain sistem destilasi dan pengering terintegrasi, Penentuan spesifikasi teknis utama (sumber panas, ruang destilasi, sistem kondensasi, dan separator minyak)

2. Tahap Pembuatan Prototipe

Perakitan unit DryStilla sesuai desain teknis. Integrasi sistem pengering dan destilasi dalam satu unit operasional. Berikut penyempurnaan dengan kendali elektronis sesuai dengan blok diagram pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok

Gambar 2 menggambarkan sistem kendali elektronik berbasis mikrokontroler yang mengatur kerja pemanas secara otomatis. Pengguna memasukkan nilai pengaturan melalui tombol, sementara sensor suhu dan kelembapan membaca kondisi aktual sistem [21], [22]. Seluruh data ini diproses oleh mikrokontroler sebagai pusat kendali, kemudian hasil pengukuran dan status kerja ditampilkan pada layar LCD [23], [24]. Berdasarkan perbandingan antara setpoint dan kondisi nyata, mikrokontroler mengaktifkan atau memutus relay sebagai sakelar penghubung ke *heater*. Dengan mekanisme ini, proses pemanasan dapat berlangsung terkontrol, aman, dan sesuai kebutuhan operasional.

3. Tahap Uji Fungsional

Pengujian setiap subsistem secara terpisah. Pengujian sistem terintegrasi untuk memastikan fungsi berjalan normal. Eksperimen dilakukan dengan langkah-langkah berikut:

- Persiapan Bahan, yaitu kapulaga segar sebagai bahan baku ditimbang dan dicatat kadar awalnya
- Pengoperasian Alat, DryStilla dioperasikan pada parameter suhu dan waktu yang telah ditentukan
- Proses Pengeringan, pengurangan kadar air bahan baku menggunakan sistem pengering terintegrasi
- Proses Destilasi Uap, ekstraksi minyak atsiri melalui destilasi uap
- Kondensasi dan Pemisahan, pemisahan minyak atsiri dan hidrosol pada unit separator
- Pengulangan Eksperimen, setiap pengujian dilakukan minimal tiga kali untuk menjamin konsistensi data

2.2. Variabel Penelitian

Variabel bebas: Waktu proses dan Suhu operasi. Variabel terikat: Rendemen minyak atsiri (%), Efisiensi pengeringan, Stabilitas operasi alat. Variabel kendali: Jenis bahan baku (kapulaga), Kapasitas muatan alat

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui Pengukuran langsung hasil destilasi (volume dan rendemen minyak), Observasi stabilitas operasi sistem, Pencatatan waktu proses dan konsumsi energi, dan Dokumentasi hasil uji lapangan

2.4. Metode Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif kuantitatif, meliputi:

1. Perbandingan hasil rendemen minyak sebelum dan sesudah penggunaan DryStilla analisis peningkatan efisiensi proses
2. Evaluasi performa sistem secara operasional
3. Evaluasi *Technology Readiness Level* (TRL)

Penilaian kesiapan teknologi dilakukan menggunakan kerangka TRL 1–9, dengan indikator [25], [26]:

- a) Validasi fungsi teknologi
- b) Stabilitas operasi pada lingkungan nyata
- c) Kesiapan sistem untuk direplikasi

3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian eksperimental terhadap teknologi DryStilla dilakukan pada lingkungan operasional nyata Kelompok Tani Kapulaga Berkarya di Desa Karangkemiri. Pengujian bertujuan untuk mengevaluasi kinerja teknis alat, stabilitas operasional, efisiensi proses, serta dampak ekonomi awal dari penerapan teknologi.

3.1. Hasil Uji Kinerja Teknis DryStilla

Berikut hasil kerja Uji Kinerja Teknis DryStilla sesuai dengan tabel 1

Tabel 1. Uji Kinerja Teknis DryStilla

Parameter Uji	Metode Konvensional	DryStilla	Perubahan
Waktu pengeringan	2–3 hari	6–8 jam	Lebih singkat
Kadar air akhir bahan	Tidak seragam	Seragam	Lebih stabil
Rendemen minyak atsiri	±1,5–2,0%	±3,0–3,5%	↑ >50%
Stabilitas suhu	Fluktuatif	Stabil	Meningkat
Kehilangan minyak volatil	Tinggi	Rendah	Menurun

Hasil pada Tabel 1 menunjukkan bahwa DryStilla mampu meningkatkan efisiensi proses pengolahan kapulaga secara signifikan dibandingkan metode konvensional. Integrasi sistem pengeringan dan destilasi berkontribusi pada peningkatan rendemen minyak atsiri dan stabilitas kualitas produk.

3.2. Hasil Evaluasi Efisiensi Operasional

Berikut hasil kerja Evaluasi Efisiensi Operasional DryStilla.

Tabel 2. Evaluasi Efisiensi Operasional DryStilla

Aspek Operasional	Kondisi Sebelum	Kondisi Setelah
Jumlah tahapan proses	Terpisah	Terintegrasi
Konsumsi energi	Tinggi	Lebih efisien
Ketergantungan cuaca	Tinggi	Rendah
Kemudahan pengoperasian	Rendah	Tinggi
Kesesuaian skala desa	Rendah	Tinggi

Tabel 2 menunjukkan bahwa DryStilla dirancang sesuai dengan kebutuhan operasional skala desa. Penyederhanaan proses dan integrasi sistem meningkatkan kemudahan penggunaan dan mengurangi ketergantungan terhadap faktor eksternal seperti cuaca.

3.3. Hasil Dampak Ekonomi Awal

Tabel 3. Perbandingan Nilai Ekonomi Produk Kapulaga

Jenis Produk	Harga Sebelum	Harga Setelah	Kenaikan
Kapulaga basah	±Rp75.000/kg	—	—
Kapulaga kering	±Rp260.000/kg	±Rp260.000/kg	Stabil
Minyak atsiri kapulaga (100 ml)	—	Rp500.000–600.000	Tinggi

Hasil pada Tabel 3 menunjukkan bahwa penerapan DryStilla memungkinkan diversifikasi produk dan peningkatan nilai ekonomi yang signifikan melalui produksi minyak atsiri.

3.4. Hasil Evaluasi Technology Readiness Level (TRL)

Tabel 4. Evaluasi Tingkat Kesiapan Teknologi DryStilla

Level TRL	Indikator	Status
TRL 6	Prototipe diuji pada lingkungan relevan	Tercapai
TRL 7	Sistem beroperasi pada lingkungan nyata	Tercapai
TRL 8	Sistem stabil dan konsisten	Sebagian tercapai
TRL 9	Siap komersialisasi luas	Tahap lanjutan

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa DryStilla telah mencapai TRL 7–8, yang menandakan kesiapan teknologi untuk tahap hilirisasi lanjutan.

3.5. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa DryStilla mampu menjawab permasalahan utama yang diidentifikasi pada latar belakang penelitian, yaitu rendahnya efisiensi dan nilai tambah pengolahan kapulaga di tingkat petani. Integrasi proses pengeringan dan destilasi uap terbukti mampu mempersingkat waktu proses sekaligus menjaga kualitas minyak atsiri.

Peningkatan rendemen minyak atsiri lebih dari 50% menunjukkan bahwa kehilangan senyawa volatil yang sebelumnya terjadi pada metode konvensional dapat ditekan secara signifikan. Hal ini mengonfirmasi bahwa pendekatan sistem terintegrasi yang digunakan pada DryStilla lebih sesuai untuk komoditas kapulaga yang sensitif terhadap panas dan waktu pengolahan.

a) Implikasi terhadap Efisiensi dan Stabilitas Operasional

Dari sisi rekayasa sistem, hasil penelitian menunjukkan bahwa DryStilla memiliki stabilitas operasi yang baik pada lingkungan operasional desa. Stabilitas suhu dan konsistensi hasil produksi menjadi indikator penting bahwa teknologi ini tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga andal untuk digunakan oleh pengguna non-industri. Hal ini memperkuat argumen bahwa DryStilla dirancang sebagai teknologi tepat guna, yang mampu menjembatani kesenjangan antara teknologi laboratorium dan kebutuhan nyata masyarakat desa. Dampak Sosial Ekonomi terhadap Kelompok Tani Kapulaga Berkarya adalah penerapan DryStilla mendorong perubahan pola usaha kelompok tani dari penjualan bahan mentah menuju pengolahan berbasis hilirisasi. Diversifikasi produk menjadi kapulaga kering berkualitas dan minyak atsiri memberikan peluang peningkatan pendapatan serta memperkuat posisi tawar kelompok tani dalam rantai nilai. Selain dampak ekonomi langsung, penerapan teknologi ini juga berdampak pada peningkatan kapasitas sumber daya manusia melalui transfer pengetahuan dan keterampilan teknis. Hal ini berkontribusi pada penguatan kemandirian kelompok tani dan keberlanjutan usaha di Desa Karangkemiri.

b) Keterkaitan Hasil Penelitian dengan Evaluasi TRL

Capaian TRL 7–8 yang diperoleh DryStilla menunjukkan bahwa teknologi telah melewati fase validasi laboratorium dan relevan, serta berhasil diimplementasikan pada lingkungan operasional nyata. Dampak teknis dan sosial ekonomi yang terukur menjadi bukti bahwa teknologi ini siap untuk direplikasi dan dikembangkan lebih lanjut. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pascapanen, tetapi juga memperkuat basis ilmiah bagi hilirisasi teknologi DryStilla.

Dari sisi operasional, DryStilla menunjukkan kinerja yang stabil dan mudah dioperasikan pada lingkungan produksi nyata oleh kelompok tani. Penyederhanaan tahapan proses dan pengurangan ketergantungan terhadap faktor eksternal, seperti cuaca, menjadikan teknologi ini sesuai dengan karakteristik dan keterbatasan sumber daya di tingkat desa. Hal ini menegaskan bahwa DryStilla tidak hanya layak secara teknis, tetapi juga relevan sebagai teknologi tepat guna untuk skala usaha kecil–menengah.

Penelitian ini juga menunjukkan bahwa penerapan DryStilla memberikan dampak sosial ekonomi yang positif bagi Kelompok Tani Kapulaga Berkarya di Desa Karangkemiri. Kemampuan menghasilkan produk bernilai tambah, khususnya minyak atsiri kapulaga, mendorong perubahan pola usaha dari penjualan bahan mentah menuju pengolahan berbasis hilirisasi. Perubahan tersebut berimplikasi pada peningkatan pendapatan, penguatan kemandirian kelompok tani, serta terbukanya peluang aktivitas ekonomi baru di tingkat desa.

Berdasarkan evaluasi *Technology Readiness Level*, teknologi DryStilla telah mencapai TRL 7–8, yang menunjukkan bahwa sistem telah berhasil didemonstrasikan dan diuji secara stabil pada lingkungan operasional nyata. Capaian ini menjadi indikator bahwa DryStilla siap untuk dikembangkan lebih lanjut menuju tahap hilirisasi dan replikasi pada wilayah lain dengan karakteristik serupa. Namun demikian, pengembangan lanjutan masih diperlukan untuk mencapai TRL 9, terutama terkait dengan standardisasi desain, optimasi efisiensi energi, serta pengujian keberlanjutan pada skala penggunaan yang lebih luas.

4. Simpulan

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan dan menguji secara eksperimental teknologi DryStilla, yaitu alat destilator uap dan pengering terintegrasi yang dirancang untuk pengolahan pascapanen kapulaga pada lingkungan operasional skala desa. Pengujian dilakukan menggunakan pendekatan penelitian eksperimental berbasis rekayasa dengan tujuan utama mengevaluasi kinerja teknis, efisiensi operasional, serta tingkat kesiapan teknologi (*Technology Readiness Level/TRL*) dari sistem yang dikembangkan. Berdasarkan hasil pengujian, DryStilla terbukti mampu meningkatkan efisiensi proses pengolahan kapulaga secara signifikan dibandingkan metode konvensional. Integrasi proses pengeringan dan destilasi uap dalam satu sistem menghasilkan waktu pengeringan yang jauh lebih singkat, stabilitas suhu operasi yang lebih baik, serta penurunan kehilangan senyawa volatil selama proses berlangsung. Peningkatan rendemen minyak atsiri lebih dari 50% menunjukkan bahwa pendekatan sistem terintegrasi yang diterapkan pada DryStilla efektif dalam menjaga kualitas dan kuantitas hasil ekstraksi minyak atsiri. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan teknologi pascapanen terintegrasi berbasis kebutuhan nyata masyarakat desa. Hasil penelitian tidak hanya memperkaya kajian ilmiah di bidang rekayasa sistem dan teknologi terapan, tetapi juga menunjukkan bahwa inovasi teknologi yang diuji secara eksperimental pada lingkungan pengguna akhir memiliki potensi besar untuk mendorong peningkatan nilai ekonomi komoditas lokal dan pengurangan kesenjangan teknologi di wilayah pedesaan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada Universitas Peradaban atas dukungan yang telah memungkinkan terlaksananya penelitian ini. Penulis juga mengapresiasi dukungan dari Pemerintah Desa Karangkemiri, Kecamatan Pekuncen, Kabupaten Banyumas, serta Kelompok Tani Kapulaga Berkarya yang telah berperan aktif sebagai mitra penelitian dan lokasi pengujian teknologi DryStilla. Partisipasi dan keterbukaan mitra dalam proses pengujian lapangan sangat berkontribusi terhadap keberhasilan penelitian ini. Ucapan terima kasih

disampaikan pula kepada seluruh anggota tim peneliti dan mahasiswa yang terlibat dalam proses perancangan, pengembangan, pengujian, serta pengumpulan data penelitian. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan teknologi pascapanen terintegrasi dan peningkatan nilai tambah komoditas lokal di wilayah pedesaan.

Daftar Pustaka

- [1] Zulkifli, Lutfi, Irene Kartika Eka Wijayanti, and Indah Setiawati. "Analisis Karakteristik Dan Motivasi Sosial Ekonomi Petani Kapulaga Di Lahan Perhutani Kabupaten Banyumas." *SEPA: Jurnal Sosial Ekonomi Pertanian dan Agribisnis* 20.1 (2023): 107-114.
- [2] Y. Fatiah, I. K. Wijayanti, and D. D. Putri, "Pengaruh modal sosial dan kelembagaan terhadap kinerja usaha tani kapulaga di lahan Perhutani Kabupaten Banyumas," *Agritexts: Journal of Agricultural Extension*, vol. 46, no. 2, pp. 81–90, 2022
- [3] Marina, Ida, et al. "Pengolahan tanaman toga sebagai upaya peningkatan ekonomi keluarga." *BERNAS: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat* 4.1 (2023): 574-578.
- [4] Tarigan, Andesmeta, and Horasdia Saragih. "Identifikasi kandungan senyawa bioaktif buah Kapulaga (*Amomum compactum*)."*Jurnal Gizi* 12.1 (2023): 46-51.
- [5] Chandrakala, V., et al. "Chemical composition and pharmacological activities of essential oils." *Essential Oils: Extraction Methods and Applications* (2023): 229-268.
- [6] Rulazi, Evordius Laurent, et al. "Development and performance evaluation of a novel solar dryer integrated with thermal energy storage system for drying of agricultural products." *ACS omega* 8.45 (2023): 43304-43317.
- [7] Ravindran, Archana, E. Jayashree, and K. Anees. "Post-harvest processing, chemistry and culinary applications of major spices used in south Indian cuisines." *The Pharma Innovation Journal* 11.2 (2022): 2429-2441.
- [8] Titahelu, Nicolas, et al. "Meningkatkan efektivitas kondensor vertikal pipa helikal koil untuk destilasi minyak atsiri sereh." *Jurnal Rekayasa Mesin* 14.1 (2023): 235-249.
- [9] Siagian, Marsent Beriman, Norman Iskandar, and Sulardjaka Sulardjaka. "Simulasi Uji Performa Desain Kukusan Pada Mesin Distilasi Kapulaga Dengan Software Ansys." *JURNAL TEKNIK MESIN* 12.3 (2024): 383-390.
- [10] Ina, Febi Rambu, and Horasdia Saragih. "Nanoemulsion of Cardamom Fruit Extract (*Amomum compactum*) and its Characterization." *Jurnal Biologi Tropis* 25.2 (2025): 1490-1501.
- [11] Octavia, Dona, et al. "The Potential Of Cardamom Leaf In The Agroforestry System: Essential Oil Yield And 1.8-Cineol Content." *Indonesian Journal of Forestry Research* 11.1 (2024): 17-32.
- [12] Gosal, Lidya, and Meldy Hosang. "Kajian Potensi Minyak Atsiri (Volatile Organic Compounds) Sebagai Salah Satu Pengendali Hama Tanaman." *Jurnal Bios Logos* 12.2 (2022): 149-156.
- [13] Jayakumar, Jikky, et al. "Performance analysis of solar and heat pump dryer of small cardamom (*Elettaria Cardamomum Maton*) using energy analysis, drying kinetics, and quality." *Biomass Conversion and Biorefinery* 14.17 (2024): 20807-20821.
- [14] Teresa-Martínez, Giselle Dení, et al. "Effect of the instant controlled pressure drop technology in cardamom (*Elettaria cardamomum*) essential oil extraction and antioxidant activity." *Molecules* 27.11 (2022): 3433.
- [15] Rokhayati, Isnaeni, et al. "Teknologi Tepat Guna Pada Pemanfaatan Residu Kapulaga Bagi Kemandirian Ekonomi Masyarakat Pedesaan." *Jurnal Pengabdian Multidisiplin* 4.3 (2024).
- [16] Mukhlasin, Khosin Latul. "Pengelolaan tanaman ‘Kapulaga’ menjadi obat-obatan herbal berupa minyak urut sebagai upaya peningkatan kreativitas dan kemandirian perekonomian masyarakat Desa Ranuwurung Kecamatan Gading Kabupaten Probolinggo." *KHIDMAH: Jurnal Pengabdian Masyarakat* 3.1 (2023): 45-50.
- [17] Dewi, Alfa Yuliana, et al. "Minuman Dan Sabun Kesehatan Berbahan Dasar Kopi, Daun Cengkeh, Dan Kapulaga Dalam Rangka Peningkatan Pendapatan Masyarakat." Prosiding Seminar Nasional Pengabdian Masyarakat LPPM UMJ. 2024.
- [18] Baskaran, Divya, et al. "An overview of technologies for capturing, storing, and utilizing carbon dioxide: Technology readiness, large-scale demonstration, and cost." *Chemical Engineering Journal* 491 (2024): 151998.
- [19] Goren, Aysegul Yagmur, Dogan Erdemir, and Ibrahim Dincer. "Comprehensive review and assessment of carbon capturing methods and technologies: An environmental research." *Environmental Research* 240 (2024): 117503.
- [20] Zhang, Sheng, et al. "Field experimental investigation on electricity and thermal performances of a large scale photovoltaic solar-thermal direct expansion heat pump system." *Energy Conversion and Management* 267 (2022): 115941.
- [21] Rianti, Kurnia Paranita Kartika, and Yogi Prastyo. "Analisis Penggunaan Sensor Suhu Dan Kelembaban Untuk Monitoring Lingkungan Greenhouse Berbasis Arduino." *Antivirus: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika* 16.2 (2022): 200-210.
- [22] Rustami, Erus, et al. "Uji Karakteristik Sensor Suhu Dan Kelembaban Multi-Channel Menggunakan Platform Internet Of Things (IOT)." *Berkala Fisika* 25.2 (2022): 45-52.
- [23] Solekha, Ririn, and Ulinnuha Latifa. "Sistem Kendali Proportional Integral Derivative (PID) Menggunakan Mikrokontroler Arduino Pada Thinkercad." *ELECTRON Jurnal Ilmiah Teknik Elektro* 5.1 (2024): 89-97.
- [24] Oematan, Alfonsus, et al. "Rancang Bangun Mesin Roasted Biji Kopi Timor Portabel Berbasis Internet Of Things (IoT) dengan Mikrokontroler ESP32." *Krisnadana Journal* 3.3 (2024): 155-165.
- [25] Ozcan, Sercan, Aldo Stornelli, and Christopher Simms. "A product innovation readiness level framework." *IEEE Transactions on Engineering Management* 71 (2023): 9920-9937.
- [26] Malali, Praveen, Zihao Ding, and Martin Ayala Villavicencio. "Technology readiness level assessment of hydrokinetic energy converters." *Energy Reports* 14 (2025): 1240-1250.