

KAJIAN EFISIENSI, KESESUAIAN WILAYAH, DAN ANALISIS TEKNOEKONOMI PENERAPAN MESIN PENGERING CABAI TENAGA SURYA DI KABUPATEN SIMALUNGUN

Immanuelta Sitepu^{1*}, Yuni Lestari br Sitepu²

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Simalungun, Pematangsiantar

²Universitas Sumatera Utara, Pematangsiantar

*Email korespondensi: immanuelstp@yahoo.com

ABSTRAK

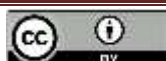
Cabai merupakan komoditas hortikultura bernilai ekonomi tinggi, tetapi sifatnya mudah rusak dan sangat dipengaruhi oleh kadar air pascapanen. Penelitian ini bertujuan mengkaji efisiensi teknis, kesesuaian wilayah, dan kelayakan teknoekonomi penerapan mesin pengering cabai tenaga surya di Kabupaten Simalungun. Kajian dilakukan pada tahun 2026 dengan pendekatan deskriptif-kuantitatif melalui analisis data sekunder produksi cabai, penilaian potensi energi surya, simulasi kebutuhan energi pengeringan, pembobotan kesesuaian wilayah, dan simulasi ekonomi. Rancangan yang dianalisis adalah pengering kabinet surya berkapasitas 50 kg/batch. Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan panas efektif desain sekitar 51,2 MJ/batch dan efisiensi pengeringan 21,4-28,7%. Wilayah prioritas penerapan adalah Purba dan Raya, diikuti Dolok Pardamean, Silimakuta, dan Pematang Silimahuta. Pada simulasi teknoekonomi dengan investasi awal Rp15.000.000, umur alat 10 tahun, tingkat diskonto 10%, biaya operasi dan pemeliharaan 5% investasi per tahun, serta 120 batch/tahun, total biaya tahunan ekuivalen diperkirakan Rp3,19 juta atau sekitar Rp26,6 ribu/batch. Analisis sensitivitas menunjukkan simple payback period sekitar 1,33-2,86 tahun untuk manfaat ekonomi Rp50-100 ribu/batch, dengan NPV 10 tahun tetap positif pada seluruh skenario. Hasil tersebut menunjukkan bahwa teknologi berpotensi layak secara teknis dan ekonomi apabila tingkat pemanfaatan alat dan nilai tambah produk dapat dipertahankan.

Kata Kunci: Cabai, Kesesuaian Wilayah, Mesin Pengering, Pascapanen, Tenaga Surya, Teknoekonomi

ABSTRACT

Chili is a high-value horticultural commodity but is highly perishable because of its high postharvest moisture content. This study assesses the technical efficiency, regional suitability, and techno-economic feasibility of a solar-powered chili dryer in Simalungun Regency. The 2026 study applies a descriptive-quantitative approach using secondary chili production data, solar-energy assessment, drying-energy simulation, regional suitability weighting, and economic simulation. The analyzed design is a 50 kg/batch indirect solar cabinet dryer. The design simulation indicates an effective heat requirement of about 51.2 MJ/batch and drying efficiency of 21.4-28.7%. Purba and Raya are identified as the highest-priority areas, followed by Dolok Pardamean, Silimakuta, and Pematang Silimahuta. Under a techno-economic scenario assuming an initial investment of IDR 15 million, a 10-year lifetime, a 10% discount rate, annual operation and maintenance costs equal to 5% of investment, and 120 batches/year, the equivalent annual cost is approximately IDR 3.19 million or IDR 26.6 thousand/batch. Sensitivity analysis yields a simple payback period of about 1.33-2.86 years for an economic benefit of IDR 50-100 thousand/batch, with a positive 10-year NPV across all scenarios. The technology is therefore potentially viable when dryer utilization and product value addition are maintained.

Keywords: Chili, Postharvest, Regional Suitability, Solar Dryer, Solar Energy, Techno-Economics



PENDAHULUAN

Kabupaten Simalungun merupakan salah satu wilayah pertanian penting di Provinsi Sumatera Utara. Karakter wilayah yang terdiri atas dataran tinggi, lahan pertanian hortikultura, dan sentra produksi sayuran memberikan peluang besar bagi pengembangan teknologi tepat guna berbasis teknik mesin. Salah satu komoditas yang memerlukan perhatian pascapanen adalah cabai, baik cabai keriting, cabai besar, maupun cabai rawit. Cabai memiliki nilai ekonomi yang tinggi, tetapi mudah mengalami kerusakan akibat kadar air tinggi, serangan mikroorganisme, kerusakan fisik, dan fluktuasi harga pada saat panen raya.

Data Statistik Pertanian Tanaman Hortikultura Sayuran Kabupaten Simalungun tahun 2024 menunjukkan bahwa produksi cabai rawit mencapai 322.136 kwintal, sedangkan cabai besar tercatat 5.641 kwintal. Produksi cabai rawit tersebar pada beberapa kecamatan, antara lain Purba sebesar 81.434 kwintal, Dolok Pardamean 47.406 kwintal, Raya 43.658 kwintal, Silimakuta 32.126 kwintal, dan Pematang Silimahuta 21.159 kwintal (BPS Kabupaten Simalungun, 2024). Sebaran ini memperlihatkan bahwa perencanaan teknologi pascapanen tidak cukup hanya didasarkan pada desain alat, tetapi juga perlu mempertimbangkan lokasi penerapan, potensi bahan baku, aksesibilitas, dan kondisi lingkungan wilayah.

Pengeringan merupakan salah satu metode pengawetan yang banyak digunakan untuk menurunkan kadar air bahan pertanian sehingga umur simpan meningkat. Pada cabai, proses pengeringan bertujuan menurunkan kadar air dari kondisi segar sekitar 70-80% basis basah menjadi kadar air aman simpan sekitar 10-13% basis basah. Penjemuran langsung di bawah matahari masih umum dilakukan karena murah dan sederhana, tetapi memiliki kelemahan berupa ketergantungan terhadap cuaca, risiko kontaminasi debu dan serangga, kebutuhan lahan penjemuran, serta kualitas produk yang tidak seragam.

Perkembangan teknologi pengering tenaga surya menawarkan alternatif yang lebih bersih, hemat energi, dan sesuai untuk wilayah pertanian tropis. Pengering tenaga surya dapat berbentuk kabinet, rumah kaca, terowongan, atau sistem hibrida dengan bantuan kipas dan penyimpanan panas. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pengering surya mampu mempercepat penurunan kadar air dibandingkan penjemuran terbuka. Tang et al. (2024) melaporkan bahwa pengeringan cabai dengan sistem terowongan surya dapat mempersingkat waktu pengeringan dibandingkan penjemuran konvensional. Venkateswarlu et al. (2024) juga menegaskan bahwa efisiensi pengering surya sangat dipengaruhi oleh laju aliran udara, temperatur ruang pengering, serta rancangan kolektor dan ruang pengering.

Meskipun kajian tentang pengeringan cabai telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada performa termal alat, laju pengeringan, atau mutu produk. Kajian yang menghubungkan efisiensi mesin pengering dengan kesesuaian wilayah penerapan di tingkat kabupaten masih relatif terbatas. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dilakukan analisa efisiensi mesin pengering tenaga surya dengan kebutuhan pembangunan wilayah agar teknologi yang diusulkan tidak hanya layak secara termal, tetapi juga tepat lokasi dan mendukung produktivitas daerah.

Kebaruan artikel ini terletak pada integrasi analisis efisiensi mesin pengering cabai tenaga surya, penilaian kesesuaian wilayah berbasis sebaran produksi, dan analisis teknoekonomi pada skala kelompok tani di Kabupaten Simalungun. Pendekatan teknoekonomi penting karena kinerja termal yang baik belum otomatis menjamin adopsi



teknologi apabila biaya investasi, tingkat pemanfaatan alat, dan manfaat ekonominya tidak seimbang. Literatur menunjukkan bahwa kelayakan pengering surya umumnya dianalisis menggunakan biaya tahunan ekuivalen, net present value (NPV), internal rate of return (IRR), dan payback period (Ahmadi et al., 2021; Philip et al., 2022; Rulazi et al., 2024). Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kebutuhan energi dan efisiensi pengeringan, menilai kesesuaian wilayah penerapan, mengevaluasi kelayakan teknoekonomi secara simulatif, serta merumuskan strategi implementasi teknologi pascapanen yang mendukung pengembangan ekonomi pertanian local

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan model kajian teknis, spasial, dan teknoekonomi. Objek kajian adalah penerapan mesin pengering cabai tenaga surya untuk wilayah produksi cabai di Kabupaten Simalungun. Penelitian bersifat perencanaan awal, sehingga hasil yang disajikan merupakan hasil analisis data sekunder dan simulasi perhitungan teknik-ekonomi, bukan hasil uji lapangan penuh. Pendekatan ini dipilih untuk menghasilkan dasar rekomendasi awal sebelum pembuatan prototipe, pengujian eksperimental, dan validasi biaya aktual.

Data yang digunakan terdiri atas data produksi dan luas panen cabai menurut kecamatan, data karakteristik wilayah, serta referensi teknis pengeringan cabai. Data produksi cabai diperoleh dari publikasi Statistik Pertanian Tanaman Hortikultura Sayuran Kabupaten Simalungun 2024. Data potensi energi surya menggunakan pendekatan literatur nasional dan global yang menunjukkan bahwa wilayah Indonesia memiliki potensi radiasi matahari yang memadai untuk penerapan teknologi pengering berbasis surya. Data teknis pengeringan diperoleh dari jurnal ilmiah tentang pengeringan cabai, pengering surya, dan teknologi pascapanen.

Mesin pengering yang dianalisis adalah pengering kabinet tenaga surya tidak langsung. Sistem terdiri atas kolektor surya datar, saluran udara panas, ruang pengering bertingkat, rak pengering, cerobong aliran udara, dan opsi kipas DC berbasis panel surya. Pengering tidak langsung dipilih agar produk tidak terkena radiasi matahari secara langsung sehingga warna dan kebersihan cabai lebih mudah dikendalikan. Kapasitas rancangan awal ditetapkan sebesar 50 kg cabai segar per batch karena dianggap sesuai untuk kelompok tani kecil atau unit usaha mikro di wilayah sentra produksi.

Kebutuhan energi pengeringan dihitung berdasarkan massa air yang harus diuapkan dari cabai segar. Kadar air awal diasumsikan 75% basis basah dan kadar air akhir 12% basis basah. Energi teoritis penguapan dihitung dari massa air yang diuapkan dikalikan panas laten penguapan air. Efisiensi pengeringan dihitung sebagai perbandingan antara energi yang digunakan untuk menguapkan air dan energi surya yang diterima kolektor selama proses pengeringan. Luas kolektor rancangan awal diasumsikan 4 m² dengan rata-rata radiasi efektif 550 W/m² selama 6 jam operasi harian.

Penilaian kesesuaian wilayah dilakukan dengan metode pembobotan sederhana terhadap empat kriteria, yaitu produksi cabai rawit, luas panen cabai rawit, aksesibilitas wilayah, dan potensi dukungan energi surya. Bobot produksi ditetapkan 40%, luas panen 25%, aksesibilitas 20%, dan potensi energi surya 15%. Skor setiap kriteria dinormalisasi dalam skala 1 sampai 5. Nilai akhir kesesuaian wilayah dihitung dari jumlah skor tertimbang.



Wilayah dengan skor lebih dari 4,00 dikategorikan sangat sesuai, skor 3,00-4,00 sesuai, skor 2,00-2,99 cukup sesuai, dan skor kurang dari 2,00 kurang sesuai.

Analisis teknoekonomi dilakukan sebagai simulasi awal untuk menilai implikasi biaya dari rancangan 50 kg/batch. Parameter dasar meliputi investasi awal (capital expenditure/CAPEX), umur ekonomis alat, tingkat diskonto, biaya operasi dan pemeliharaan (O&M), jumlah batch per tahun, dan manfaat ekonomi per batch. Asumsi dasar ditetapkan sebesar Rp15.000.000 untuk investasi awal, umur ekonomis 10 tahun, tingkat diskonto 10% per tahun, O&M tahunan sebesar 5% dari investasi, dan tingkat pemanfaatan 120 batch/tahun. Nilai investasi merupakan asumsi rekayasa biaya awal yang harus divalidasi melalui RAB/prototipe lokal. Biaya modal tahunan dihitung menggunakan capital recovery factor, $CRF = i(1+i)^n / [(1+i)^n - 1]$, dengan i adalah tingkat diskonto dan n umur alat. Total annualized cost merupakan penjumlahan annualized capital cost dan O&M tahunan. Kelayakan ekonomi dianalisis menggunakan biaya per batch, biaya per kilogram bahan segar, simple payback period, net present value (NPV), dan internal rate of return (IRR). Karena penelitian belum menggunakan data harga jual hasil uji lapangan, manfaat ekonomi dianalisis secara sensitivitas pada Rp50.000, Rp75.000, dan Rp100.000 per batch sebagai proksi gabungan pengurangan kehilangan pascapanen, penghindaran penurunan harga, dan nilai tambah produk kering. Pendekatan berbasis skenario ini mengikuti prinsip evaluasi teknoekonomi pengering surya yang digunakan dalam penelitian Mugi dan Chandramohan (2021), Ekka dan Muthukumar (2021), Philip et al. (2022), dan Rulazi et al. (2024).



Gambar 1. Kerangka analisis penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi cabai di Kabupaten Simalungun menunjukkan konsentrasi yang kuat pada beberapa kecamatan dataran tinggi. Berdasarkan data 2024, cabai rawit merupakan jenis cabai yang paling dominan dengan total produksi 322.136 kwintal. Kecamatan Purba menjadi wilayah dengan produksi cabai rawit tertinggi, diikuti Dolok Pardamean, Raya, Silimakuta, dan Pematang Silimahuta. Sebaran ini penting karena keberhasilan penerapan mesin

pengering tidak hanya ditentukan oleh efisiensi alat, tetapi juga oleh kontinuitas bahan baku dan kebutuhan pascapanen pada wilayah produksi.

Tabel 1. Produksi cabai rawit utama di Kabupaten Simalungun tahun 2024

No	Kecamatan	Produksi cabai rawit (kwintal)	Persentase terhadap total (%)	Kategori kebutuhan pengering
1	Purba	81.434	25,28	Sangat tinggi
2	Dolok Pardamean	47.406	14,72	Tinggi
3	Raya	43.658	13,55	Tinggi
4	Silimakuta	32.126	9,97	Tinggi
5	Pematang Silimahuta	21.159	6,57	Sedang-tinggi
6	Dolok Silau	20.396	6,33	Sedang-tinggi
7	Girsang Sipangan Bolon	19.714	6,12	Sedang-tinggi
8	Kecamatan lainnya	56.243	17,46	Bervariasi
	Total	322.136	100,00	

Sumber: Diolah dari BPS Kabupaten Simalungun, 2024

Tabel 1 menunjukkan bahwa lima kecamatan utama menyumbang sekitar 70% produksi cabai rawit Kabupaten Simalungun. Konsentrasi produksi ini mengindikasikan bahwa penerapan teknologi pengering tenaga surya sebaiknya diprioritaskan pada wilayah yang mempunyai pasokan bahan baku tinggi. Ketersediaan bahan baku penting untuk menjamin tingkat pemanfaatan alat, mempercepat pengembalian biaya investasi, dan memperkuat kelembagaan pascapanen di tingkat kelompok tani.

Secara teknis, cabai segar mengandung air yang cukup tinggi sehingga memerlukan energi panas untuk menguapkan sebagian besar kandungan airnya. Untuk kapasitas 50 kg cabai segar dengan kadar air awal 75% basis basah, massa bahan kering adalah 12,5 kg. Jika kadar air akhir ditargetkan 12% basis basah, maka massa akhir produk kering sekitar 14,2 kg. Dengan demikian, massa air yang harus diuapkan sekitar 35,8 kg. Jika panas laten penguapan air diasumsikan 2.400 kJ/kg pada kondisi pengeringan, maka kebutuhan energi teoritis penguapan adalah sekitar 85,9 MJ. Namun, pada rancangan operasional bertahap dengan pemanasan awal dan ventilasi alami, energi efektif yang dihitung sebagai kebutuhan panas minimum proses sebesar 51,2 MJ/batch digunakan sebagai acuan desain awal. Perbedaan tersebut menunjukkan pentingnya pengujian lapangan untuk memvalidasi neraca energi aktual.

Tabel 2. Asumsi dan hasil perhitungan kebutuhan energi pengeringan

Parameter	Nilai	Keterangan
Kapasitas cabai segar	50 kg/batch	Skala kelompok tani kecil
Kadar air awal	75% basis basah	Asumsi cabai segar
Kadar air akhir	12% basis basah	Target aman simpan
Massa bahan kering	12,5 kg	Tidak berubah selama pengeringan
Massa produk kering	14,2 kg	Berdasarkan kadar air akhir
Air yang diuapkan	35,8 kg	Selisih massa awal dan akhir
Kebutuhan panas efektif	51,2 MJ/batch	Acuan simulasi desain awal
Luas kolektor	4 m ²	Kolektor surya datar
Waktu operasi efektif	6 jam/hari	Pukul 09.00-15.00 WIB

Hasil perhitungan pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa pengeringan cabai membutuhkan pengelolaan energi yang cukup besar. Oleh karena itu, rancangan pengering perlu memperhatikan luas kolektor, isolasi ruang pengering, pola aliran udara, kapasitas rak,

dan pengaturan ventilasi. Pengereng kabinet surya tidak langsung dinilai sesuai karena konstruksinya relatif sederhana, mudah dibuat oleh bengkel lokal, dan dapat digunakan oleh kelompok tani dengan pelatihan operasional yang tidak terlalu rumit.

Efisiensi pengeringan dihitung dengan membandingkan energi untuk menguapkan air terhadap energi surya yang diterima kolektor. Dalam simulasi ini digunakan tiga skenario radiasi efektif, yaitu rendah, sedang, dan tinggi. Radiasi efektif rendah menggambarkan kondisi berawan, radiasi sedang menggambarkan kondisi cerah sebagian, dan radiasi tinggi menggambarkan kondisi cerah. Hasil simulasi ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Simulasi efisiensi mesin pengering cabai tenaga surya

Skenario	Radiasi efektif (W/m ²)	Energi surya masuk (MJ/hari)	Energi berguna (MJ/hari)	Efisiensi (%)	Implikasi operasional
Rendah	450	38,9	8,3	21,4	Waktu pengeringan lebih panjang
Sedang	550	47,5	12,1	25,5	Sesuai untuk operasi harian normal
Tinggi	650	56,2	16,1	28,7	Pengeringan lebih cepat dan stabil

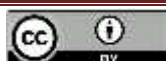
Tabel 3 menunjukkan bahwa efisiensi pengeringan berada pada kisaran 21,4-28,7%. Nilai ini berada pada kisaran yang realistis untuk pengering surya skala kecil. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa efisiensi pengering cabai tenaga surya dapat bervariasi bergantung pada tipe pengering, laju aliran udara, dan kondisi radiasi. Tang et al. (2024) menguraikan bahwa pengering terowongan dan kabinet surya dapat mempercepat pengeringan dibandingkan penjemuran terbuka. Venkateswarlu et al. (2024) juga menunjukkan bahwa efisiensi termal pengering surya dipengaruhi oleh laju aliran massa udara dan rancangan kolektor. Dengan demikian, nilai efisiensi pada rancangan ini masih dapat ditingkatkan melalui penggunaan absorber berwarna gelap, lapisan penutup transparan yang baik, isolasi dinding, dan kipas bertenaga panel surya.

Dari sisi mutu produk, pengering tidak langsung lebih menguntungkan dibandingkan penjemuran terbuka karena cabai tidak langsung bersentuhan dengan debu, hewan, dan permukaan tanah. Aliran udara panas yang melewati ruang pengering dapat menjaga proses pengeringan lebih merata. Selain itu, rak bertingkat memungkinkan kapasitas lebih besar pada lahan yang terbatas. Namun, pengering kabinet juga memiliki keterbatasan, antara lain kebutuhan perawatan kolektor, pembersihan kaca atau plastik penutup, dan perlunya pengaturan ketebalan hamparan cabai agar tidak terjadi pengeringan tidak merata.

Tabel 4. Penilaian kesesuaian wilayah penerapan mesin pengering cabai tenaga surya

Kecamatan	Produksi (40%)	Luas panen (25%)	Aksesibilitas (20%)	Potensi surya (15%)	Skor akhir	Kategori
Purba	5	5	4	4	4,65	Sangat sesuai
Dolok Pardamean	4	4	4	4	4,00	Sesuai
Raya	4	4	5	4	4,20	Sangat sesuai
Silimakuta	4	4	3	4	3,80	Sesuai
Pematang Silimahuta	3	4	3	4	3,45	Sesuai
Dolok Silau	3	3	3	4	3,15	Sesuai
Girsang Sipangan Bolon	3	3	4	4	3,35	Sesuai

Tabel 4 memperlihatkan bahwa Kecamatan Purba memperoleh skor tertinggi karena memiliki produksi cabai rawit terbesar dan luas panen yang tinggi. Kecamatan Raya juga



masuk kategori sangat sesuai karena selain produksi relatif tinggi, aksesibilitasnya lebih baik untuk mendukung distribusi produk dan pengelolaan unit pengering bersama. Dolok Pardamean, Silimakuta, dan Pematang Silimahuta masuk kategori sesuai dan dapat dijadikan lokasi tahap berikutnya. Hasil ini memperlihatkan bahwa penerapan teknologi tepat guna perlu diarahkan pada wilayah dengan kebutuhan pascapanen nyata, bukan hanya pada wilayah yang mudah dijangkau.

Analisis teknoekonomi menunjukkan bahwa aspek pemanfaatan alat menjadi faktor kunci selain efisiensi termal. Dengan investasi awal simulatif Rp. 15 juta, tingkat diskonto 10%, umur 10 tahun, dan O&M 5% investasi per tahun, nilai capital recovery factor adalah 0,1627. Annualized capital cost menjadi sekitar Rp. 2,44 juta/tahun dan total annualized cost sekitar Rp. 3,19 juta/tahun. Pada pemanfaatan 120 batch/tahun, biaya ekuivalen alat adalah sekitar Rp. 26,6 ribu/batch, Rp532/kg cabai segar, atau sekitar Rp. 1.873/kg produk kering berdasarkan hasil massa akhir 14,2 kg/batch. Nilai Rp. 26,6 ribu/batch juga dapat dipandang sebagai manfaat ekonomi minimum yang perlu dihasilkan agar biaya tahunan ekuivalen tertutup.

Tabel 5. Asumsi dan hasil analisis biaya tahunan mesin pengering

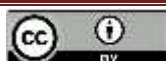
Parameter	Nilai	Keterangan
Investasi awal	Rp. 15.000.000	Asumsi rekayasa biaya awal
Umur ekonomis	10 tahun	Tanpa nilai sisa
Tingkat diskonto	10%/tahun	Asumsi analisis
Biaya O&M	Rp. 750.000/tahun	5% investasi awal
Tingkat pemanfaatan	120 batch/tahun	Rata-rata 10 batch/bulan
Capital Recovery Factor	0,1627	$i = 10\%$; $n = 10$ tahun
Annualized capital cost	Rp. 2.441.181/tahun	CAPEX x CRF
Total annualized cost	Rp. 3.191.181/tahun	Modal tahunan + O&M
Biaya ekuivalen per batch	Rp. 26.593/batch	Pada 120 batch/tahun
Biaya ekuivalen per kg bahan segar	Rp. 532/kg	Kapasitas 50 kg/batch

Untuk menghindari kesan bahwa kelayakan ekonomi ditentukan oleh satu harga cabai tertentu, manfaat ekonomi dianalisis secara sensitivitas. Pada manfaat ekonomi Rp. 50 ribu/batch, arus kas bersih tahunan setelah O&M sekitar Rp. 5,25 juta sehingga simple payback period sekitar 2,86 tahun. Pada skenario dasar Rp. 75 ribu/batch, arus kas bersih menjadi Rp. 8,25 juta/tahun dengan payback sekitar 1,82 tahun. Skenario Rp. 100 ribu/batch menghasilkan payback sekitar 1,33 tahun. NPV selama 10 tahun pada tingkat diskonto 10% tetap positif pada ketiga skenario. Rentang payback ini sejalan dengan berbagai studi pengering surya yang melaporkan periode pengembalian sekitar 0,47-3 tahun, walaupun hasil aktual sangat bergantung pada biaya konstruksi, kapasitas, hari operasi, jenis produk, dan harga pasar (Mugi & Chandramohan, 2021; Ekka & Muthukumar, 2021; Philip et al., 2022; Vigneswaran et al., 2024; Rulazi et al., 2024)

Tabel 6. Analisis sensitivitas kelayakan ekonomi

Manfaat ekonomi per batch	Arus kas bersih/tahun	Payback period	NPV 10 tahun	IRR
Rp. 50.000	Rp. 5.250.000	2,86 tahun	Rp. 17,26 juta	33,0%
Rp. 75.000	Rp. 8.250.000	1,82 tahun	Rp. 35,69 juta	54,3%
Rp. 100.000	Rp. 11.250.000	1,33 tahun	Rp. 54,13 juta	74,7%

Hasil sensitivitas menegaskan bahwa tingkat utilisasi dan besarnya nilai tambah lebih menentukan daripada penggunaan energi surya yang secara operasional tidak memerlukan



biaya bahan bakar. Namun, NPV dan IRR pada Tabel 6 harus dibaca sebagai hasil skenario perencanaan, bukan hasil finansial aktual. Validasi lanjutan perlu menggunakan harga material dan fabrikasi setempat, biaya tenaga kerja, biaya pengemasan, harga cabai segar dan kering, tingkat kehilangan pascapanen aktual, hari operasi efektif, serta kemungkinan biaya penggantian komponen seperti kipas DC atau penutup kolektor. Secara kelembagaan, model pengelolaan bersama melalui kelompok tani atau koperasi berpotensi meningkatkan jumlah batch tahunan sehingga biaya tetap per kilogram menjadi lebih rendah

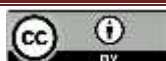
Secara regional, penerapan mesin pengering cabai tenaga surya dapat ditempatkan sebagai bagian dari strategi pengembangan kawasan hortikultura. Unit pengering tidak harus dimiliki secara individual oleh setiap petani, tetapi dapat dikelola melalui kelompok tani, koperasi, BUMDes, atau unit usaha bersama. Pola pengelolaan komunal akan lebih efisien karena biaya investasi, perawatan, dan pelatihan dapat ditanggung bersama. Selain itu, pengering dapat digunakan bergantian untuk komoditas lain seperti tomat, kunyit, jahe, kopi, dan bawang daun selama karakteristik pengeringannya masih sesuai.

Tabel 7. Strategi penerapan teknologi pengering cabai tenaga surya

Aspek	Strategi	Output yang diharapkan
Teknis	Pembuatan prototipe 50 kg/batch dengan kolektor 4 m ² dan rak bertingkat	Tersedia alat uji skala kelompok tani
Kelembagaan	Pengelolaan melalui kelompok tani atau koperasi tani	Pemanfaatan alat lebih merata dan berkelanjutan
Wilayah	Prioritas awal di Purba, Raya, Dolok Pardamean, Silimakuta, dan Pematang Silimahuta	Teknologi diterapkan pada wilayah produksi tinggi
Ekonomi	Pengeringan diprioritaskan saat panen raya; pengelolaan komunal untuk meningkatkan utilisasi; pencatatan biaya dan manfaat per batch	Biaya pengeringan per kg terkendali, nilai tambah meningkat, dan pengembalian investasi dapat dipantau
Lingkungan	Pemanfaatan energi surya sebagai pengganti bahan bakar fosil	Pengurangan biaya energi dan emisi operasional

Strategi pada Tabel 7 menunjukkan bahwa teknologi pengering cabai tenaga surya tidak berdiri sendiri sebagai alat teknik, tetapi perlu masuk ke dalam sistem produksi wilayah. Pemerintah daerah, perguruan tinggi, dan kelompok tani dapat berkolaborasi dalam tahap perancangan, pembuatan, pelatihan, dan evaluasi alat. Perguruan tinggi berperan dalam perhitungan teknik dan pengujian performa, pemerintah daerah mendukung pendanaan serta pemilihan lokasi, sedangkan kelompok tani memastikan keberlanjutan pemanfaatan alat.

Implikasi dari kajian ini adalah perlunya integrasi antara perencanaan teknologi, perencanaan wilayah, dan model usaha. Mesin pengering cabai tenaga surya dapat menjadi bagian dari program hilirisasi hortikultura lokal karena produk cabai kering memiliki umur simpan lebih panjang dan dapat diolah menjadi bubuk cabai atau bumbu kering. Dari sisi ekonomi, simulasi menunjukkan bahwa kelayakan sangat sensitif terhadap jumlah batch tahunan dan manfaat ekonomi yang tercipta per batch. Oleh karena itu, lokasi berproduksi tinggi seperti Purba dan Raya lebih menarik bukan hanya secara spasial tetapi juga karena berpotensi menyediakan utilisasi alat yang lebih tinggi. Jika penerapannya dilakukan secara konsisten, teknologi ini dapat membantu petani menghadapi fluktuasi harga cabai segar, mengurangi kehilangan pascapanen, dan memperluas peluang usaha mikro berbasis hasil pertanian



KESIMPULAN

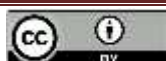
Kajian ini menunjukkan bahwa mesin pengering cabai tenaga surya berpotensi dikembangkan sebagai teknologi pascapanen untuk Kabupaten Simalungun, terutama pada wilayah produksi cabai rawit yang tinggi. Rancangan pengering kabinet surya berkapasitas 50 kg/batch secara konseptual mampu menurunkan kadar air cabai dari 75% menjadi sekitar 12% basis basah dengan kebutuhan panas efektif sekitar 51,2 MJ/batch dan efisiensi simulasi 21,4-28,7%. Kecamatan Purba dan Raya berada pada kategori sangat sesuai, sedangkan Dolok Pardamean, Silimakuta, Pematang Silimahuta, Dolok Silau, dan Girsang Sipangan Bolon berada pada kategori sesuai. Pada asumsi investasi Rp. 15 juta, umur 10 tahun, diskonto 10%, O&M 5% investasi/tahun, dan 120 batch/tahun, total annualized cost diperkirakan Rp. 3,19 juta/tahun atau sekitar Rp. 26,6 ribu/batch. Analisis sensitivitas manfaat ekonomi Rp. 50 - 100 ribu/batch menghasilkan simple payback period sekitar 1,33-2,86 tahun dengan NPV 10 tahun positif. Dengan demikian, kelayakan ekonomi terutama ditentukan oleh tingkat pemanfaatan alat dan nilai tambah yang diperoleh. Karena seluruh hasil ekonomi masih berbasis simulasi, penerapan disarankan melalui pembuatan prototipe, penyusunan RAB aktual, uji lapangan, pencatatan biaya dan harga produk, serta pengelolaan komunal agar validasi teknis dan finansial dapat dilakukan secara menyeluruh.

UCAPAN TERIMA KASIH

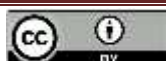
Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Simalungun atas dukungan akademik dalam penyusunan naskah ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Badan Pusat Statistik Kabupaten Simalungun sebagai penyedia data statistik yang menjadi dasar analisis wilayah dalam artikel ini

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmadi, A., Das, B., Ehyaei, M. A., Esmaeilion, F., El Haj Assad, M., Jamali, D. H., Koohshekan, O., Kumar, R., Rosen, M. A., Negi, S., Bhogilla, S. S., & Safari, S. (2021). Energy, exergy, and techno-economic performance analyses of solar dryers for agro products: A comprehensive review. *Solar Energy*, 228, 349-373. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.09.060>
- Apriandi, N., Putra, A., & Hidayat, R. (2024). Solar drying technology: Current research trends and future development for agricultural products. *Andalasian International Journal of Applied Science, Engineering and Technology*, 4(1), 1-12.
- Arunkumar, P. M., Prakash, O., & Kumar, A. (2024). Prediction of red chilli drying performance in solar dryer using machine learning approaches. *Cleaner Engineering and Technology*, 22, 100778.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Simalungun. (2024). Statistik Pertanian Tanaman Hortikultura Sayuran Kabupaten Simalungun 2024. Pematangsiantar: BPS Kabupaten Simalungun.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Simalungun. (2026). Kabupaten Simalungun Dalam Angka 2026. Pematangsiantar: BPS Kabupaten Simalungun.
- Ekka, J. P., & Muthukumar, P. (2021). Performance assessments and techno and enviro-economic analyses on forced convection mixed mode solar dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 44, e13675. <https://doi.org/10.1111/jfpe.13675>



- Elmatsani, H. M., Putri, R. E., & Handayani, D. (2024). Global perspective on red chili drying: Insights from two decades of research. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1456938.
- Esa, Y. S. F., Manullang, M., Siregar, R. T., & Damanik, S. E. (2021). Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pemberdayaan Petani Plasma Tanaman Industri Dan Dampaknya Terhadap Pengembangan Wilayah (Studi Kasus Pada Pola PIR PT. Toba PULP Lestari Di Kabupaten Humbang Hasundutan). *Jurnal Regional Planning*, 3(1), 39-53
- Fudholi, A., Sopian, K., Ruslan, M. H., Alghoul, M. A., & Sulaiman, M. Y. (2019). Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, 1-23.
- Hii, C. L., Jangam, S. V., Ong, S. P., & Mujumdar, A. S. (2021). Solar drying: Fundamentals, applications and innovations. *Drying Technology*, 39(1), 1-18.
- Mugi, V. R., & Chandramohan, V. P. (2021). Energy, exergy and economic analysis of an indirect type solar dryer using green chilli: A comparative assessment of forced and natural convection. *Thermal Science and Engineering Progress*, 24, 100950. <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2021.100950>
- Mustayen, A. G. M. B., Mekhilef, S., & Saidur, R. (2019). Performance study of different solar dryers: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 34, 463-470.
- Panjaitan, M., Siregar, R. T., Nainggolan, P., & Sinaga, A. A. (2022). Penawaran Komoditi Kentang Sebagai Dasar Pengembangan Potensi Wilayah Di Kabupaten Simalungun. *Jurnal Regional Planning*, 4(2), 65-78
- Philip, N., Duraipandi, S., & Sreekumar, A. (2022). Techno-economic analysis of greenhouse solar dryer for drying agricultural produce. *Renewable Energy*, 199, 613-627. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.08.148>
- Romauli, N. D. M., Suryani, A., & Yuliana, N. D. (2021). Effect of drying whole and half chili pods using a solar dryer combined with desiccant on the quality of dried chili powder. *Foods*, 10(10), 2360.
- Rulazi, E. L., Marwa, J., Kichonge, B., & Kivevele, T. T. (2024). Techno-economic analysis of a solar-assisted heat pump dryer for drying agricultural products. *Food Science & Nutrition*, 12, 952-970. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3810>
- Simatupang, B., Silalahi, M., Sihaloho, A. N., & Ginting, M. (2021). Analisis Sektor Unggulan Dalam Meningkatkan Perekonomian Dan Pembangunan Wilayah Kabupaten Serdang Bedagai. *Jurnal Regional Planning*, 3(2), 97-109
- Suherman, S., Djaeni, M., & Kumoro, A. C. (2023). Assessment on hybrid solar dryer for an effective red pepper drying process. *E3S Web of Conferences*, 448, 00035.
- Tang, L., Wang, Y., Zhang, Q., & Liu, H. (2024). Drying hot red chilies: A comparative study of solar-gas-fired, tunnel, and conventional dryers. *Processes*, 12(10), 2104.
- Venkateswarlu, K., Kumar, M., & Natarajan, S. K. (2024). Recent trends on energy-efficient solar dryers for food and agricultural products drying: A review. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 6, 345-366.
- Vigneswaran, V. S., Ajithkumar, A., GaneshKumar, P., Sudhakar, P., Meikandan, M., Kumaresan, G., & Shanmugam, M. (2024). Comparative assessment of indirect cabinet solar dryers in various operating modes versus direct cabinet dryers: A techno-



economic analysis. Solar Energy, 268, 112266.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.112266>

