Bulletin of Community Engagement
Vol. 6, No. 3, December 2026
https://attractivejournal.com/index.php/bce//index

Efisiensi Biaya Produksi dan Kelayakan Investasi Pengering Surya pada Usaha Mikro Pengolahan Makanan di Malang Raya

Adrian Hartanto Darma Sanputra[1]*, Dyah Palupi Rohmiati[1], Erlyn Yuniashri[1], Ervina Dwi Aprilia [1]
[1] Universitas Negeri Malang, Indonesia

adrianhartanto.feb@um.ac.id*

ARTICLE INFO
Article history:
Received
August 16, 2026
Revised
October 30, 2026
Accepted
November 05, 2026

Abstract

This study analyses changes in unit production cost structures and investment feasibility of solar dryers among micro food-processing enterprises. Renewable energy adoption is often promoted without adequate cost accounting frameworks, leaving economic benefits unverified and investment decisions prone to error. A multi-case design was applied to 15 micro food-processing enterprises in Greater Malang that procured solar dryers independently. Primary operational and financial data were collected via observation, interviews, and documentation across a single reference period, then analyzed using full costing and payback period methods. Unit cost of goods manufactured decreased in 13 of 14 enterprises with baseline comparisons, averaging −5.03 percent across all 14 comparative units, while one unit experienced an increase driven by an adverse raw material price shock. Drying energy cost fell by an average of 44.7 percent, drying time by 55.2 percent, and defective products by 51.9 percent. Payback periods ranged from 1.6 to 30.0 months with a median of 7.7 months, achieving the fastest recovery in self-built units (averaging 2.2 months). Dominant economic returns stemmed from reduced weather-related spoilage and expanded capacity rather than direct energy savings. This study contributes to sustainability management accounting by offering an empirical investment-appraisal framework tailored to micro-enterprises.

Keywords: Cost Accounting; Full Costing; Micro Enterprise; Payback Period; Solar Dryer

Published by CV. Creative Tugu Pena
ISSN 2774-7077
Website https://attractivejournal.com/index.php/bce/
This is an open access article under the CC BY SA license
https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/

@ 2026 by the authors

INTRODUCTION

Sektor usaha mikro pengolahan makanan berperan dalam pengolahan komoditas pertanian dan perikanan seperti ikan asin, kerupuk, keripik umbi, olahan buah, serta simplisia rempah. Penjemuran tradisional di bawah sinar matahari langsung (open sun drying) tetap mudah dijumpai, tetapi rentan terhadap variabilitas cuaca, paparan debu, hama, dan kontaminasi sehingga dapat meningkatkan produk gagal serta mengganggu kestabilan pasokan (Afzal et al., 2023; Tomar et al., 2017; Watson et al., 2022). Pengering surya (solar dryer) menawarkan waktu proses yang lebih singkat, ruang pengeringan yang lebih terlindungi, dan peluang penurunan susut pascapanen (El-Mesery et al., 2022; Kamarulzaman et al., 2021; Madhankumar et al., 2023; Saini et al., 2023). Pemanfaatannya juga relevan dengan arah kebijakan peningkatan energi terbarukan, meskipun Peraturan Presiden Nomor 112 Tahun 2022 secara khusus mengatur penyediaan tenaga listrik.

Dalam literatur rekayasa, kajian tekno-ekonomi mengenai pengering surya telah berkembang pesat. Berbagai penelitian terdahulu menguji pemodelan matematis, analisis termofisika, efisiensi energi dan eksergi, serta penilaian siklus biaya 4E (energy, exergy, environmental, economic) pada beragam konfigurasi alat (Abdelkader et al., 2024; Cetina-

Quiñones et al., 2023; El Hage et al., 2018; Gupta et al., 2022; Hadibi et al., 2021; Jahromi et al., 2022; Lakshmi et al., 2019; Lamrani & Draoui, 2021; Lingayat et al., 2020; Malakar et al., 2021; Mathew & Thangavel, 2021; Ndukwu et al., 2020; Shimpy et al., 2023; Simo-Tagne et al., 2022; Singh et al., 2021; Srivastava et al., 2021; Vigneswaran et al., 2024; Zachariah et al., 2021). Namun demikian, mayoritas studi rekayasa tersebut berpusat pada optimasi kinerja teknis kolektor, variasi konveksi alami versus paksa, atau simulasi pengeringan komoditas spesifik pada kondisi laboratorium terkendali. Evaluasi ekonomi yang disajikan kerap kali mengasumsikan penghematan bahan bakar secara teoritis atau mengukur periode pengembalian modal teknis semata, tanpa menautkannya dengan struktur biaya produksi riil, beban overhead pabrik, penyusutan aset, dan keterbatasan modal kerja yang dihadapi unit usaha nyata.

Dilihat dari lensa manajemen strategis dan akuntansi keberlanjutan, adopsi teknologi bersih bukan sekadar persoalan efisiensi teknis peralatan, melainkan instrumen penciptaan nilai ekonomi. Perspektif Natural-Resource-Based View menegaskan bahwa pencegahan polusi dan optimalisasi sumber daya lingkungan dapat menjadi sumber keunggulan kompetitif apabila dipadukan secara terintegrasi dengan efisiensi operasi inti (Hart, 1995). Integrasi ini tecermin dalam konsep eko-efisiensi dan inovasi proses berkelanjutan yang bertujuan menurunkan dampak lingkungan sembari menekan pengeluaran operasional (Caiado et al., 2017; Hermundsdottir & Aspelund, 2021; Jiao et al., 2023; Özbuğday et al., 2020). Berbagai studi empiris pada sektor usaha kecil dan menengah (UKM) menunjukkan bahwa inisiatif keberlanjutan, pengelolaan energi, dan adopsi rantai pasok sirkular berkorelasi positif dengan peningkatan kinerja operasional maupun finansial (Bag et al., 2022; Bartolacci et al., 2020; Bhatti et al., 2023; Dey et al., 2022; Eikelenboom & de Jong, 2019; García-Granero et al., 2018; Lin et al., 2020; Mura et al., 2020; Prieto-Sandoval et al., 2019; Rodríguez-Espíndola et al., 2022; Singh et al., 2022; Yacob et al., 2019).

Meskipun demikian, transfer teknologi hijau pada tataran usaha mikro menghadapi tantangan struktural. Pengambilan keputusan adopsi merupakan proses multi-atribut yang dapat terhambat keterbatasan kapabilitas internal dan persepsi risiko biaya awal (Yao et al., 2021). Di Indonesia, kesiapan UMKM untuk bertransisi menuju ekonomi hijau juga belum merata (Pangarso et al., 2022). Keterbatasan pencatatan tampak pula pada lima usaha dalam penelitian ini yang belum memiliki pembukuan formal. Tanpa perhitungan biaya yang memadai, manfaat investasi sulit diukur dan beban penyusutan, pemeliharaan, serta biaya energi tambahan dapat terabaikan dalam keputusan pembelian alat.

Dari sudut pandang akuntansi manajemen, keputusan adopsi alat baru menuntut informasi biaya penuh yang komprehensif. Metode full costing memperhitungkan seluruh unsur biaya produksi ke dalam produk, mencakup biaya bahan baku langsung, biaya tenaga kerja langsung, serta biaya overhead pabrik baik tetap maupun variabel (Hansen & Mowen, 2007; Horngren et al., 2015; Mulyadi, 2015). Pendekatan pembebanan penuh ini sangat krusial untuk mengevaluasi dampak pengering surya, karena perubahan biaya bahan bakar, penyusutan alat baru, dan biaya pemeliharaan dialokasikan secara transparan ke dalam harga pokok per unit. Selanjutnya, kelayakan belanja modal dievaluasi melalui payback period, yang menyediakan ukuran likuiditas dan kecepatan pengembalian modal yang intuitif serta mudah dipahami oleh pemilik usaha mikro (Hansen & Mowen, 2007).

Kesenjangan yang masih terlihat dalam literatur adalah pemisahan antara kajian tekno-ekonomi alat dan analisis biaya pada tingkat entitas usaha. Kajian tekno-ekonomi lebih sering berfokus pada performa teknis dan kelayakan konfigurasi tertentu, sedangkan literatur UMKM berkelanjutan banyak membahas adopsi, kapabilitas, dan kinerja secara agregat. Ruang yang diisi penelitian ini adalah evaluasi komparatif HPP sebelum dan sesudah adopsi pengering surya berdasarkan data lapangan usaha mikro Indonesia yang membeli atau merakit alat secara mandiri.

Penelitian ini bertujuan mengisi kekosongan tersebut dengan menjawab tiga pertanyaan penelitian: (1) bagaimana perubahan komponen dan struktur biaya produksi pada usaha mikro pengolahan makanan setelah mengadopsi pengering surya menurut metode full costing; (2) bagaimana tingkat efisiensi operasional sebelum dan sesudah adopsi pada dimensi biaya energi

pengeringan, waktu pengeringan, dan volume produk gagal; serta (3) seberapa layak investasi pengering surya diukur dengan payback period antar-sumber perolehan alat dan apa implikasinya bagi ketahanan harga pokok produksi. Kebaruan penelitian ini bersifat terikat konteks (bounded novelty), yakni memadukan analisis full costing dan payback period berbasis data biaya operasional riil pada studi multikasus 15 usaha mikro pengolahan makanan mandiri di Malang Raya. Secara teoretis, artikel ini memperkaya akuntansi manajemen keberlanjutan melalui bukti lapangan usaha mikro; secara praktis, artikel ini menawarkan model kalkulasi biaya yang aplikatif bagi pengambilan keputusan investasi usaha mikro.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan rancangan studi multikasus dengan analisis biaya kuantitatif sebagai inti penyelidikan dan penggalian kualitatif kontekstual sebagai penjelas dinamika operasional. Pendekatan multikasus dipilih bukan untuk menguji generalisasi statistik populasi luas, melainkan guna memahami variasi perilaku biaya dan kelayakan belanja modal pada keragaman komoditas serta jenis peralatan yang diadopsi secara mandiri. Unit analisis adalah usaha mikro pengolahan makanan, dengan 15 usaha mikro di wilayah Kota Malang, Kabupaten Malang, dan Kota Batu sebagai subjek penelitian. Pemilihan subjek dilakukan secara purposif dengan empat kriteria: (1) bergerak dalam industri pengolahan pangan kering; (2) telah mengoperasikan pengering surya; (3) berlokasi di wilayah aglomerasi Malang Raya; serta (4) mengadakan peralatan secara mandiri melalui pembelian vendor komersial, perakitan sendiri, atau pembelian unit bekas, tanpa menerima hibah cuma-cuma dari lembaga pemerintah maupun donor luar. Keragaman produk yang dicakup meliputi ikan asin kering, kerupuk puli, simplisia rempah jahe/temulawak, keripik singkong, apel dan buah kering, sale pisang, teh herbal daun, cabai bubuk, jamur tiram kering, kerupuk ikan, wedang rempah kering, kunyit dan kencur kering, ikan kering bumbu, keripik tempe dan umbi, serta abon dan serundeng.

Data primer dihimpun melalui wawancara terstruktur dengan pemilik usaha, observasi mendalam atas alur proses pengeringan, serta dokumentasi arsip berupa nota belanja bahan baku, bukti pembayaran energi, catatan volume keluaran, dan anggaran pembuatan atau faktur pembelian mesin. Pengamatan dibatasi pada satu periode produksi acuan yang representatif untuk masing-masing usaha. Terkait validitas data, sebanyak 10 usaha memiliki bukti transaksi dan log operasional yang terdokumentasi (diklasifikasikan sebagai data riil). Sementara itu, 5 usaha belum menyelenggarakan pembukuan formal sehingga sebagian komponen biaya direkonstruksi dari keterangan ingatan pemilik dengan triangulasi catatan fisik; data pada kelompok ini diklasifikasikan sebagai data estimasi. Untuk menjamin transparansi ilmiah, kelompok data estimasi diuji ketahanannya secara terpisah melalui analisis kepekaan.

Analisis data dilakukan dalam empat tahapan sistematis:

1. Perhitungan Harga Pokok Produksi (HPP): Menggunakan metode full costing (Horngren et al., 2015; Mulyadi, 2015) untuk membandingkan kondisi sebelum dan sesudah adopsi. Total biaya produksi dihitung dengan menjumlahkan biaya bahan baku langsung, biaya tenaga kerja langsung, dan biaya overhead pabrik (mencakup biaya bahan bakar/listrik pengeringan, beban penyusutan alat menggunakan metode garis lurus, serta estimasi biaya pemeliharaan). HPP per kilogram diperoleh dengan membagi total biaya produksi dengan volume output produk jadi (kg).
2. Pengukuran Efisiensi Operasional: Membandingkan rata-rata kinerja sebelum dan sesudah adopsi pada tiga indikator kunci: pengeluaran biaya energi pengeringan (Rp/bulan), waktu pengeringan per batch (jam), dan volume produk gagal/rusak akibat cuaca (kg/periode).
3. Penilaian Kelayakan Investasi: Mengukur payback period sederhana dengan rumus investasi awal dibagi manfaat bersih bulanan. Manfaat bersih bulanan didefinisikan sebagai penjumlahan penghematan biaya energi, penghematan dari penurunan produk gagal, penghematan tenaga kerja, dan tambahan laba kapasitas, dikurangi biaya operasional tambahan alat. Perhitungan ini tidak memasukkan nilai waktu uang, arus kas setelah modal awal kembali, umur ekonomis fisik peralatan, maupun volatilitas arus kas masa depan.

4. Uji Kepekaan (Sensitivity Analysis): Menguji ketahanan simpulan dengan mengeluarkan 5 usaha berstatus data estimasi dan menganalisis ulang arah perubahan HPP serta rerata payback pada 9 usaha pembanding berstatus data riil.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Subjek dan Nilai Investasi Pengering Surya

Sebaran karakteristik 15 usaha mikro memperlihatkan diversifikasi komoditas pangan olahan serta disparitas belanja teknologi yang lebar di Malang Raya (Tabel 1). Nilai investasi awal pengadaan pengering surya bergerak dari nilai terendah sebesar Rp4.850.000 pada rak pengering surya rakitan mandiri (UMKM-11 untuk wedang rempah celup) hingga nilai tertinggi sebesar Rp57.930.000 pada fasilitas greenhouse solar dryer komersial dari vendor (UMKM-01 untuk ikan asin kering). Secara keseluruhan, nilai belanja investasi alat mencatat rata-rata sebesar Rp31.580.000 dengan median sebesar Rp33.080.000.

Ditinjau dari sumber perolehan teknologi pengering surya, terdapat empat pola pengadaan mandiri: sebanyak 10 unit usaha membeli peralatan baru dari vendor pabrikan, 3 unit usaha merakit peralatan mandiri bermaterial lokal (UMKM-02, UMKM-06, dan UMKM-11), 1 unit usaha membeli peralatan rekondisi atau bekas (UMKM-04), dan 1 unit usaha mengoperasikan sistem pengering hibrida berbantuan pemanas listrik cadangan (UMKM-05). Dari aspek keterandalan data keuangan, sebanyak 10 unit usaha menyajikan pembukuan riil yang terverifikasi faktur dan catatan operasional, sedangkan 5 unit usaha lainnya berstatus data estimasi berbasis rekonstruksi terstruktur bersama pemilik. Tabel 1 merangkum karakteristik subjek penelitian, komoditas olahan, sumber perolehan alat, nilai investasi, dan status dokumentasi data.

Tabel 1. Karakteristik Subjek dan Investasi Pengering Surya

Kode	Produk	Sumber alat	Investasi (Rp)	Status data
UMKM-01	Ikan asin kering	Beli (vendor)	57.930.000	Estimasi
UMKM-02	Kerupuk puli	Buat sendiri	9.350.000	Riil
UMKM-03	Simplisia jahe/temulawak	Beli (vendor)	41.550.000	Riil
UMKM-04	Keripik singkong	Beli bekas	8.050.000	Estimasi
UMKM-05	Apel & buah kering	Beli (hibrida)	50.200.000	Riil
UMKM-06	Sale pisang	Buat sendiri	12.800.000	Riil
UMKM-07	Teh herbal daun	Beli (vendor)	36.200.000	Riil
UMKM-08	Cabai bubuk	Beli (vendor)	26.100.000	Estimasi
UMKM-09	Jamur tiram kering	Beli (vendor)	33.080.000	Riil
UMKM-10	Kerupuk ikan	Beli (vendor)	49.050.000	Riil
UMKM-11	Wedang rempah kering	Buat sendiri	4.850.000	Estimasi
UMKM-12	Kunyit & kencur kering	Beli (vendor)	26.790.000	Riil
UMKM-13	Ikan kering bumbu	Beli (vendor)	52.020.000	Estimasi
UMKM-14	Keripik tempe & umbi	Beli (vendor)	23.120.000	Riil
UMKM-15	Abon & serundeng	Beli (vendor)	42.560.000	Riil

Sumber: data primer diolah, 2026.

Perubahan Harga Pokok Produksi Berbasis Full Costing

Perhitungan harga pokok produksi (HPP) per kilogram menggunakan metode full costing sebelum dan sesudah adopsi disajikan pada Tabel 2. Evaluasi komparatif mencakup 14 unit usaha yang memiliki kondisi awal setara. Unit UMKM-09 (jamur tiram kering) tidak

memiliki data pembanding sebelum adopsi (n.a.) karena lini produk kering tersebut baru dirintis bersamaan dengan pembelian pengering surya komersial senilai Rp33.080.000; unit ini membukukan HPP sesudah adopsi sebesar Rp119.394 per kilogram dengan manfaat bersih bulanan Rp1.770.000 dan payback period 18,7 bulan.

Dari 14 unit usaha pembanding, sebanyak 13 unit mencatat penurunan HPP per kilogram setelah adopsi pengering surya. Penurunan HPP terbesar terjadi pada UMKM-05 (apel dan buah kering) sebesar −11,3 persen, dari Rp190.139 menjadi Rp168.739 per kg, dan UMKM-15 (abon dan serundeng) sebesar −10,3 persen, dari Rp154.474 menjadi Rp138.515 per kg. Unit lain membukukan perubahan antara −0,3 persen (UMKM-01) dan −8,2 persen (UMKM-11). Rekonstruksi komponen biaya menunjukkan tiga sumber perubahan: penurunan biaya energi, berkurangnya bahan baku yang terbuang, dan kenaikan volume keluaran yang memperluas basis pembebanan overhead tetap.

Sebaliknya, UMKM-12 (kunyit dan kencur kering) mengalami kenaikan HPP sebesar +7,7 persen, dari Rp135.692 menjadi Rp146.161 per kg. Pada periode acuan, kenaikan harga beli rimpang segar dan beban penyusutan alat baru senilai Rp26.790.000 lebih besar daripada penghematan proses yang tercatat. Secara agregat, rerata perubahan HPP seluruh 14 unit pembanding adalah −5,03 persen dengan median −5,57 persen; sebaran tersebut menunjukkan pola penurunan umum sekaligus heterogenitas antarunit.

Tabel 2. Harga Pokok Produksi, Manfaat Bersih, dan Payback Period

Kode	HPP sebelum (Rp/kg)	HPP sesudah (Rp/kg)	Δ HPP (%)	Manfaat bersih/bln (Rp)	Payback (bln)
UMKM-01	265.256	264.463	-0,3	9.720.000	6,0
UMKM-02	46.918	43.833	-6,6	5.047.000	1,9
UMKM-03	158.298	146.557	-7,4	4.275.000	9,7
UMKM-04	28.109	26.704	-5,0	2.712.000	3,0
UMKM-05	190.139	168.739	-11,3	1.676.000	30,0
UMKM-06	45.267	42.331	-6,5	4.130.000	3,1
UMKM-07	129.464	121.519	-6,1	2.649.500	13,7
UMKM-08	108.829	104.542	-3,9	4.012.000	6,5
UMKM-09	n.a.	119.394	n.a.	1.770.000	18,7
UMKM-10	73.357	69.935	-4,7	6.406.500	7,7
UMKM-11	64.769	59.463	-8,2	3.045.000	1,6
UMKM-12	135.692	146.161	+7,7	2.468.000	10,9
UMKM-13	78.556	76.056	-3,2	9.137.000	5,7
UMKM-14	53.790	51.278	-4,7	2.610.000	8,9
UMKM-15	154.474	138.515	-10,3	4.315.500	9,9

Sumber: data primer diolah, 2026. n.a. = tidak tersedia karena tidak ada kondisi pembanding.

Efisiensi Indikator Operasional Sebelum dan Sesudah Adopsi

Perubahan indikator operasional lebih besar secara deskriptif daripada pergeseran HPP (Tabel 3). Rata-rata biaya energi pengeringan turun dari Rp1.643.333 per bulan menjadi Rp909.000 per bulan, atau 44,7 persen. Waktu pengeringan per batch turun dari rata-rata 42,7 jam pada kondisi sebelum adopsi menjadi 19,1 jam setelah adopsi, setara dengan penurunan durasi 55,2 persen. Rata-rata volume produk gagal berkurang dari 53,0 kilogram per periode menjadi 25,5 kilogram per periode, atau 51,9 persen.

Tabel 3. Rata-rata Indikator Operasional Sebelum dan Sesudah Adopsi

Indikator	Sebelum	Sesudah	Perubahan
Biaya energi pengeringan (Rp/bln)	1.643.333	909.000	-44,7%
Waktu pengeringan per batch (jam)	42,7	19,1	-55,2%
Produk gagal/reject (kg/periode)	53,0	25,5	-51,9%

Sumber: data primer diolah, 2026 (rata-rata 15 usaha).

Kelayakan Investasi dan Pola Payback Period

Kelayakan belanja modal dievaluasi melalui payback period yang tertera pada Tabel 2 dan dikelompokkan menurut sumber alat pada Tabel 4. Periode pengembalian modal pada 15 usaha mikro bergerak dari rentang tersingkat 1,6 bulan (UMKM-11) hingga rentang terlama 30,0 bulan (UMKM-05), dengan median 7,7 bulan. Sebanyak 12 unit usaha (80 persen) berhasil memulihkan investasi modal dalam kurun waktu kurang dari satu tahun kalender.

Tabel 4. Rata-rata Payback Period menurut Sumber Alat

Sumber alat	Jumlah unit	Payback rata-rata (bln)	Rentang (bln)
Buat sendiri	3	2,2	1,6 – 3,1
Beli bekas	1	3,0	3,0
Beli vendor baru	10	9,7	5,7 – 18,7
Hibrida (vendor)	1	30,0	30,0

Sumber: data primer diolah, 2026.

Sebagaimana terangkum pada Tabel 4, laju pemulihan investasi menunjukkan keterkaitan erat dengan sumber dan skala belanja alat:

1. Buat Sendiri (3 unit): mencatat rata-rata payback period tercepat, yakni 2,2 bulan (rentang 1,6 hingga 3,1 bulan), karena modal awal yang sangat terjangkau (Rp4,85 juta hingga Rp12,80 juta) dapat segera ditutup oleh manfaat operasional bulanan.
2. Beli Bekas (1 unit): mencatat payback period 3,0 bulan pada UMKM-04 dengan investasi Rp8.050.000.
3. Beli Vendor Baru (10 unit): mencatat rata-rata payback period 9,7 bulan (rentang 5,7 hingga 18,7 bulan).
4. Hibrida Vendor (1 unit): mencatat payback period terlama, yakni 30,0 bulan pada UMKM-05, akibat tingginya modal awal (Rp50.200.000) dan tambahan beban listrik pemanas cadangan saat cuaca berawan.

Hasil Uji Kepekaan Data

Uji kepekaan dilakukan untuk menilai pengaruh keterbatasan data pada 5 unit estimasi (UMKM-01, UMKM-04, UMKM-08, UMKM-11, dan UMKM-13). Setelah kelima unit dikeluarkan, 9 unit pembanding berstatus data riil tetap menunjukkan rerata perubahan HPP sekitar −5,5 persen dengan median −6,5 persen. Rata-rata payback pada 9 unit tersebut sekitar 10,6 bulan; apabila UMKM-09 yang berstatus data riil tetapi tidak memiliki baseline HPP ikut dihitung, rata-rata payback 10 unit riil sekitar 11,5 bulan. Kesamaan arah tersebut menunjukkan bahwa pengeluaran kasus berstatus estimasi tidak membalikkan pola utama, meskipun tidak menghilangkan seluruh risiko bias pengukuran.

PEMBAHASAN

Temuan Utama dan Kebaruan Kontekstual

Temuan multikasus ini menunjukkan bahwa adopsi pengering surya pada usaha mikro pengolahan makanan di Malang Raya berkaitan dengan perbaikan efisiensi operasional dan periode pengembalian investasi yang relatif singkat pada sebagian besar kasus. Perhitungan full costing memperlihatkan bahwa harga pokok produksi (HPP) per kilogram menurun pada 13 dari 14 unit usaha pembanding, dengan rerata perubahan seluruh 14 unit pembanding

sebesar −5,03 persen dan median −5,57 persen. Median payback period tercatat 7,7 bulan, dan sebagian besar unit memiliki periode pengembalian kurang dari satu tahun.

Temuan penting dari struktur biaya adalah pergeseran sumber manfaat ekonomi utama. Dalam literatur rekayasa termal, rasionalisasi pengering surya umumnya bertumpu pada penghematan energi dan percepatan proses (Philip et al., 2022; Reddy Mugi & Chandramohan, 2021). Namun, pada konteks usaha mikro di Malang Raya, penurunan biaya energi rata-rata 44,7 persen bukan kontributor manfaat bersih terbesar. Hal ini terjadi karena sebagian besar pelaku usaha pada kondisi awal mengandalkan penjemuran terbuka yang nyaris tanpa biaya bahan bakar eksplisit. Manfaat moneter terbesar justru bersumber dari penurunan produk gagal akibat cuaca (51,9 persen) dan tambahan kapasitas seiring pemendekan waktu pengeringan (55,2 persen). Reduksi waktu siklus meningkatkan peluang rotasi batch dan memperluas basis keluaran yang menyerap biaya overhead tetap.

Kebaruan penelitian ini bersifat terikat konteks (bounded novelty). Berbeda dari uji coba prototipe laboratorium atau program hibah alat, penelitian ini mengintegrasikan full costing dan payback period pada 15 usaha mikro yang membiayai investasinya secara mandiri. Hasil studi mempertahankan heterogenitas empiris: efisiensi biaya tidak terjadi secara seragam. Satu unit yang mengalami kenaikan HPP (+7,7 persen) dan satu unit dengan payback period 30 bulan menunjukkan bahwa manfaat teknologi bersih pada tingkat usaha mikro tetap dipengaruhi volatilitas harga input dan kesesuaian konfigurasi alat dengan skala produksi.

Perbandingan pertama merujuk pada studi tekno-ekonomi Philip et al. (2022) pada greenhouse solar dryer 100 kg di India yang mencatat payback period 1,5–2,1 tahun (18–25 bulan). Temuan di Malang searah dalam hal pemendekan waktu pengeringan dibanding penjemuran terbuka, tetapi menunjukkan median payback yang lebih cepat, yaitu 7,7 bulan dan rata-rata 2,2 bulan pada unit rakitan mandiri. Perbedaan ini dapat dikaitkan dengan biaya kapital alat rakitan di Malang yang lebih rendah (Rp4,85 juta–Rp12,80 juta) dan definisi manfaat bersih yang memasukkan mitigasi produk gagal serta tambahan laba kapasitas; desain penelitian tidak memungkinkan pengujian kontribusi relatif faktor-faktor tersebut secara kausal. Kedua, eksperimen Reddy Mugi dan Chandramohan (2021) pada pengering tidak langsung menunjukkan bahwa konveksi paksa memperpendek durasi pengeringan dan menghasilkan payback lebih singkat dibanding konveksi alami. Temuan di Malang bergerak searah dalam hal reduksi waktu, yang turun rata-rata 55,2 persen. Namun, fokus analisisnya berbeda: Reddy Mugi dan Chandramohan (2021) mengisolasi parameter termal pada komoditas tunggal, sedangkan studi ini mengevaluasi perilaku biaya pada entitas bisnis riil yang mengolah aneka produk pangan. Ketiga, Singh dan Gaur (2021) menunjukkan bahwa integrasi kolektor tambahan memperpanjang jam operasi pengering hibrida, tetapi konfigurasi semacam itu memiliki biaya lebih tinggi dan terutama diarahkan pada pengeringan skala besar. Pola tersebut selaras dengan UMKM-05 di Malang yang menggunakan alat hibrida senilai Rp50,20 juta dan mencatat payback terlama, yaitu 30,0 bulan. Pada skala mikro, investasi dan biaya energi tambahan memerlukan utilisasi yang memadai agar periode pengembalian tidak memanjang. Keempat, Mohammed et al. (2020) di Afrika Timur menemukan bahwa pengering pasif berbiaya rendah menghasilkan payback period 2,4 kali lebih singkat daripada sistem aktif fotovoltaik. Pola ini konsisten dengan temuan di Malang, tempat unit rakitan mandiri mencapai pengembalian tercepat (1,6–3,1 bulan; rata-rata 2,2 bulan). Bagi usaha mikro dengan modal terbatas, teknologi sederhana berbiaya rendah dapat lebih sesuai secara finansial daripada peralatan pabrikan yang lebih kompleks, selama kapasitas dan mutu keluaran tetap memenuhi kebutuhan usaha. Kelima, Machala et al. (2022) pada petani kecil di India mencatat bahwa penjemuran terbuka menghilangkan 34 persen potensi pendapatan akibat penurunan mutu, sedangkan penggunaan alat yang terbatas pada satu musim memerlukan 3–7 tahun untuk mencapai paritas kumulatif. Persamaannya, kerugian fisik penjemuran terbuka merupakan beban ekonomi penting. Perbedaannya, kasus di Malang mencakup aneka komoditas dan manfaat bersih yang juga memasukkan pencegahan produk gagal serta tambahan kapasitas. Kombinasi ini membantu menjelaskan mengapa sebagian besar unit mencapai payback di bawah satu tahun, tanpa menyiratkan bahwa hasil tersebut akan selalu berulang pada musim atau lokasi lain. Keenam, sintesis Udomkun et al. (2020) di Asia dan Afrika menegaskan bahwa

adopsi dan penskalaan pengering surya dipengaruhi faktor finansial, eksternal, dan struktural. Temuan penelitian ini selaras dengan pandangan tersebut: kelayakan investasi pada kasus yang ditelaah tidak hanya berkaitan dengan spesifikasi teknis, tetapi juga harga beli alat, pola produksi, dan kerugian yang dapat dicegah.

Selaras dengan tinjauan sosioekonomi Kimaro et al. (2024), studi lapangan di Malang ini menyediakan bukti kuantitatif empiris mengenai mitigasi limbah pangan dan penambahan kapasitas nilai usaha mikro. Temuan ini diperkuat bukti operasional pengering surya berbiaya rendah pada unit skala kecil dari Watson et al. (2022), efisiensi pengeringan komoditas buah Nabnean dan Nimnuan (2020), evaluasi ekonomi Kondareddy et al. (2021), serta analisis pengeringan hibrida Hadibi et al. (2021) dan Lamrani dan Draoui (2021). Selain itu, meta-analisis Oduro (2024) terhadap 134.841 UKM menemukan bahwa pengaruh inovasi hijau terhadap kinerja berkelanjutan bersifat positif moderat dan sangat dimoderasi oleh faktor kontekstual. Temuan Oduro (2024) ini memberikan landasan teoretis yang kokoh mengapa hasil di Malang memperlihatkan heterogenitas nyata, termasuk adanya satu unit yang mengalami kenaikan HPP (+7,7 persen) akibat distorsi harga beli bahan baku rimpang.

Penelitian ini memberikan kontribusi kontekstual bagi literatur akuntansi manajemen keberlanjutan pada usaha mikro yang masih kurang terwakili dalam riset akuntansi lingkungan. Pertama, studi ini memperluas penerapan Natural-Resource-Based View (Hart, 1995) dengan menunjukkan bagaimana pencegahan kerugian dan efisiensi sumber daya dapat diterjemahkan menjadi perlindungan margin melalui penurunan produk gagal dan stabilisasi HPP. Desain penelitian tidak menguji keunggulan kompetitif secara langsung, sehingga kontribusinya dibatasi pada mekanisme biaya yang berpotensi mendukungnya.

Kedua, hasil studi ini memperkaya kajian Environmental Management Accounting (EMA). Gerged et al. (2024) menunjukkan bahwa pada perusahaan di negara berkembang, EMA berhubungan dengan kinerja melalui inovasi lingkungan. Pada usaha mikro, ketiadaan sistem formal tetap menjadi kendala penting; aplikasi EMA pada UKM juga telah dikaji oleh Nyahuna dan Doorasamy (2021). Kerangka analisis dalam penelitian ini menawarkan cara praktis untuk menghubungkan informasi fisik operasional—durasi pengeringan, kilogram produk gagal, dan konsumsi energi—dengan informasi moneter berupa HPP dan manfaat bersih bulanan tanpa menuntut sistem pelaporan yang rumit. Ketiga, temuan ini dapat dibaca sejalan dengan telaah Swalih et al. (2024), yang mengidentifikasi legitimasi, efisiensi organisasi, dan pengembangan berkelanjutan sebagai motif penggunaan EMA. Penelitian ini tidak menguji motif legitimasi secara langsung (Crossley et al., 2021); kontribusinya terletak pada penerjemahan indikator fisik dan biaya menjadi informasi keputusan yang menonjolkan efisiensi substantif. Integrasi full costing membantu pelaku usaha membaca inisiatif hijau sebagai strategi biaya terukur dan merespons kesenjangan kesiapan UMKM menuju ekonomi hijau (Pangarso et al., 2022).

Temuan penelitian menghasilkan implikasi manajerial bagi pelaku usaha mikro pangan. Sebelum berinvestasi, pemilik perlu mendiagnosis kesesuaian kapasitas alat, volume bahan baku, dan modal kerja. Dalam sampel ini, alat rakitan mandiri memiliki masa pengembalian tercepat (rata-rata 2,2 bulan), tetapi hasil tersebut tidak dapat digeneralisasi tanpa mempertimbangkan mutu konstruksi dan kebutuhan produk. Pengering hibrida atau pemanas listrik tambahan perlu dinilai hati-hati karena penyusutan dan biaya energi dapat memperpanjang payback apabila utilisasi belum memadai. Pencatatan full costing secara berkala membantu memisahkan efek efisiensi proses dari fluktuasi harga bahan baku.

Dalam kerangka transisi energi nasional, termasuk arah umum Perpres 112/2022, temuan ini memberi masukan kebijakan pada tingkat implementasi usaha. Program fasilitasi teknologi hijau bagi UMKM perlu menghindari pendekatan bantuan alat seragam (one-size-fits-all) yang berisiko tidak termanfaatkan akibat ketidaksesuaian skala operasional. Literatur efisiensi sumber daya menekankan peran nasihat bisnis, dukungan eksternal, dan pendampingan dalam mendorong komitmen usaha kecil (Bodas-Freitas & Corrocher, 2019; Chatzistamoulou & Tyllianakis, 2022; Moreno-Mondéjar & Cuerva, 2020). Karena itu, opsi kebijakan yang layak diuji mencakup pelatihan perakitan alat berbiaya rendah, bimbingan kalkulasi HPP berbasis spreadsheet, pembiayaan mikro, dan fasilitas pengeringan komunal di sentra pangan.

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan metodologis. Pertama, rancangan multikasus retrospektif pada satu periode acuan tidak mendukung inferensi kausal. Kedua, rekonstruksi biaya pada 5 unit usaha mengandalkan ingatan pemilik akibat ketiadaan pembukuan formal; uji kepekaan mempertahankan arah temuan, tetapi tidak menghilangkan potensi bias ingatan. Ketiga, payback period sederhana tidak memperhitungkan nilai waktu uang, arus kas setelah modal awal kembali, umur ekonomis alat, maupun risiko arus kas. Keempat, lokus riset terbatas pada usaha pangan kering di Malang Raya, sehingga transfer temuan ke sektor atau agroklimat lain memerlukan kehati-hatian.

Berdasarkan keterbatasan tersebut, beberapa agenda riset dirumuskan. Penelitian mendatang diharapkan menerapkan desain longitudinal berbasis data panel berseri yang memantau dinamika biaya produksi melintasi siklus musim kemarau dan penghujan. Kedua, riset lanjutan disarankan menerapkan penganggaran modal terdiskon seperti NPV dan IRR untuk menilai kelayakan jangka panjang. Ketiga, eksplorasi penelitian dapat diperluas untuk menganalisis efektivitas model kelembagaan pengeringan surya bersama (shared service models) pada klaster koperasi pertanian serta evaluasi adopsi pencatatan biaya digital di kalangan wirausaha mikro perdesaan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa adopsi pengering surya oleh 15 usaha mikro pengolahan makanan di Malang Raya berkaitan dengan perbaikan efisiensi operasional dan periode pengembalian investasi yang memadai pada sebagian besar kasus. Full costing menunjukkan penurunan HPP per kilogram pada 13 dari 14 unit pembanding, dengan rerata perubahan seluruh 14 unit sebesar −5,03 persen dan median −5,57 persen; satu unit mengalami kenaikan akibat lonjakan harga bahan baku rimpang. Biaya energi pengeringan turun rata-rata 44,7 persen, waktu pengeringan 55,2 persen, dan produk gagal 51,9 persen. Median payback period tercatat 7,7 bulan, dengan pengembalian tercepat pada unit rakitan mandiri (rata-rata 2,2 bulan). Manfaat ekonomi dominan bersumber dari pencegahan produk gagal akibat cuaca dan tambahan kapasitas, bukan semata penghematan energi. Kebaruan terbatas penelitian terletak pada pemaduan analisis biaya penuh, indikator operasional, sumber manfaat, dan payback pada data usaha mikro yang membeli atau merakit alat secara mandiri. Implikasi kebijakannya adalah perlunya pendampingan diagnosis teknologi dan manajemen biaya, bukan bantuan alat seragam.

REFERENCES

Abdelkader, T. K., Sayed, H. A. A., Refai, M., Ali, M. M., Zhang, Y., Wan, Q., Khalifa, I., Fan, Q., Wang, Y., & Abdelhamid, M. A. (2024). Machine learning, mathematical modeling and 4E (energy, exergy, environmental, and economic) analysis of an indirect solar dryer for drying sweet potato. *Renewable Energy*, *227*, 120535. https://doi.org/10.1016/j.renene.2024.120535

Afzal, A., Iqbal, T., Ikram, K., Anjum, M. N., Umair, M., Azam, M., Akram, S., Hussain, F., Ameen ul Zaman, M., Ali, A., & Majeed, F. (2023). Development of a hybrid mixed-mode solar dryer for product drying. *Heliyon*, *9*(3), e14144. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14144

Bag, S., Dhamija, P., Bryde, D. J., & Singh, R. K. (2022). Effect of eco-innovation on green supply chain management, circular economy capability, and performance of small and medium enterprises. *Journal of Business Research*, *141*, 60-72. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.12.011

Bartolacci, F., Caputo, A., & Soverchia, M. (2020). Sustainability and financial performance of small and medium sized enterprises: A bibliometric and systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, *29*(3), 1297-1309. https://doi.org/10.1002/bse.2434

Bhatti, S. H., Rashid, M., Arslan, A., Tarba, S., & Liu, Y. (2023). Servitized SMEs' performance and the influences of sustainable procurement, packaging, and distribution: The mediating role of eco-innovation. *Technovation*, *127*, 102831. https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102831

Bodas-Freitas, I. M., & Corrocher, N. (2019). The use of external support and the benefits of the adoption of resource efficiency practices: An empirical analysis of european SMEs. *Energy Policy*, *132*, 75-82. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.05.019

Caiado, R. G. G., de Freitas Dias, R., Mattos, L. V., Quelhas, O. L. G., & Leal Filho, W. (2017). Towards sustainable development through the perspective of eco-efficiency - A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*, *165*, 890-904. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.166

Cetina-Quiñones, A. J., Santamaria-Bonfil, G., Medina-Esquivel, R. A., & Bassam, A. (2023). Techno-economic analysis of an indirect solar dryer with thermal energy storage: An approach with machine learning algorithms for decision making. *Thermal Science and Engineering Progress*, *45*, 102131. https://doi.org/10.1016/j.tsep.2023.102131

Chatzistamoulou, N., & Tyllianakis, E. (2022). Commitment of European SMEs to resource efficiency actions to achieve sustainability transition. A feasible reality or an elusive goal?. *Journal of Environmental Management*, *321*, 115937. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115937

Crossley, R. M., Elmagrhi, M. H., & Ntim, C. G. (2021). Sustainability and legitimacy theory: The case of sustainable social and environmental practices of small and medium-sized enterprises. *Business Strategy and the Environment*, *30*(8), 3740-3762. https://doi.org/10.1002/bse.2837

Dey, P. K., Malesios, C., Chowdhury, S., Saha, K., Budhwar, P., & De, D. (2022). Adoption of circular economy practices in small and medium-sized enterprises: Evidence from Europe. *International Journal of Production Economics*, *248*, 108496. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108496

Eikelenboom, M., & de Jong, G. (2019). The impact of dynamic capabilities on the sustainability performance of SMEs. *Journal of Cleaner Production*, *235*, 1360-1370. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.07.013

El Hage, H., Herez, A., Ramadan, M., Bazzi, H., & Khaled, M. (2018). An investigation on solar drying: A review with economic and environmental assessment. *Energy*, *157*, 815-829. https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.197

El-Mesery, H. S., El-Seesy, A. I., Hu, Z., & Li, Y. (2022). Recent developments in solar drying technology of food and agricultural products: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *157*, 112070. https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.112070

García-Granero, E. M., Piedra-Muñoz, L., & Galdeano-Gómez, E. (2018). Eco-innovation measurement: A review of firm performance indicators. *Journal of Cleaner Production*, *191*, 304-317. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.215

Gerged, A. M., Zahoor, N., & Cowton, C. J. (2024). Understanding the relationship between environmental management accounting and firm performance: The role of environmental innovation and stakeholder integration – Evidence from a developing country. *Management Accounting Research*, *62*, 100865. https://doi.org/10.1016/j.mar.2023.100865

Gupta, A., Das, B., Biswas, A., & Mondol, J. D. (2022). Sustainability and 4E analysis of novel solar photovoltaic-thermal solar dryer under forced and natural convection drying. *Renewable Energy*, *188*, 1008-1021. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.090

Hadibi, T., Boubekri, A., Mennouche, D., Benhamza, A., & Kumar, A. (2021). Economic analysis and drying kinetics of a geothermal-assisted solar dryer for tomato paste drying. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, *101*(15), 6542-6551. https://doi.org/10.1002/jsfa.11326

Hansen, D. R., & Mowen, M. M. (2007). *Managerial accounting* (8th ed.). Thomson South-Western.

Hart, S. L. (1995). A natural-resource-based view of the firm. *Academy of Management Review*, *20*(4), 986–1014. https://doi.org/10.5465/amr.1995.9512280033

Hermundsdottir, F., & Aspelund, A. (2021). Sustainability innovations and firm competitiveness: A review. *Journal of Cleaner Production*, *280*, 124715. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.124715

Horngren, C. T., Datar, S. M., & Rajan, M. V. (2015). *Cost accounting: A managerial emphasis* (15th ed.). Pearson.

Jahromi, M. S. B., Iranmanesh, M., & Akhijahani, H. S. (2022). Thermo-economic analysis of solar drying of Jerusalem artichoke (Helianthus tuberosus L.) integrated with evacuated tube solar collector and phase change material. *Journal of Energy Storage*, *52*, 104688. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104688

Jiao, X., Zhang, P., He, L., & Li, Z. (2023). Business sustainability for competitive advantage: identifying the role of green intellectual capital, environmental management accounting and energy efficiency. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, *36*(2), 2125035. https://doi.org/10.1080/1331677x.2022.2125035

Kamarulzaman, A., Hasanuzzaman, M., & Rahim, N. A. (2021). Global advancement of solar drying technologies and its future prospects: A review. *Solar Energy*, *221*, 559-582. https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.04.056

Kimaro, D., Nyangarika, A., & Kivevele, T. (2024). Uncovering socioeconomic insights of solar dryers for sustainable agricultural product preservation: A systematic review. *Heliyon*, *10*(23), e40726. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40726

Kondareddy, R., Sivakumaran, N., Radha Krishnan, K., Nayak, P. K., Sahu, F. M., & Singha, S. (2021). Performance evaluation and economic analysis of modified solar dryer with thermal energy storage for drying of blood fruit (Haematocarpus validus). *Journal of Food Processing and Preservation*, *45*(9). https://doi.org/10.1111/jfpp.15653

Lakshmi, D. V. N., Muthukumar, P., Layek, A., & Nayak, P. K. (2019). Performance analyses of mixed mode forced convection solar dryer for drying of stevia leaves. *Solar Energy*, *188*, 507-518. https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.009

Lamrani, B., & Draoui, A. (2021). Thermal performance and economic analysis of an indirect solar dryer of wood integrated with packed-bed thermal energy storage system: A case study of solar thermal applications. *Drying Technology*, *39*(10), 1371-1388. https://doi.org/10.1080/07373937.2020.1750025

Lin, C. Y., Alam, S. S., Ho, Y. H., Al-Shaikh, M. E., & Sultan, P. (2020). Adoption of Green Supply Chain Management among SMEs in Malaysia. *Sustainability*, *12*(16), 6454. https://doi.org/10.3390/su12166454

Lingayat, A. B., Chandramohan, V. P., Raju, V. R. K., & Meda, V. (2020). A review on indirect type solar dryers for agricultural crops – Dryer setup, its performance, energy storage and important highlights. *Applied Energy*, *258*, 114005. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114005

Machala, M. L., Tan, F. L., Poletayev, A., Khan, M. I., & Benson, S. M. (2022). Overcoming barriers to solar dryer adoption and the promise of multi-seasonal use in India. *Energy for Sustainable Development*, *68*, 18-28. https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.02.001

Madhankumar, S., Viswanathan, K., Taipabu, M. I., & Wu, W. (2023). A review on the latest developments in solar dryer technologies for food drying process. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *58*, 103298. https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103298

Malakar, S., Arora, V. K., & Nema, P. K. (2021). Design and performance evaluation of an evacuated tube solar dryer for drying garlic clove. *Renewable Energy*, *168*, 568-580. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.068

Mathew, A. A., & Thangavel, V. (2021). A novel thermal energy storage integrated evacuated tube heat pipe solar dryer for agricultural products: Performance and economic evaluation. *Renewable Energy*, *179*, 1674-1693. https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.029

Mohammed, S., Fatumah, N., & Shadia, N. (2020). Drying performance and economic analysis of novel hybrid passive-mode and active-mode solar dryers for drying fruits in East Africa. *Journal of Stored Products Research*, *88*, 101634. https://doi.org/10.1016/j.jspr.2020.101634

Moreno-Mondéjar, L., & Cuerva, M. C. (2020). Fostering investment in resource efficiency actions: the case of European SMEs. *Energy Efficiency*, *13*(7), 1329-1351. https://doi.org/10.1007/s12053-020-09888-y

Mulyadi. (2015). *Akuntansi biaya* (5th ed.). UPP STIM YKPN.

Mura, M., Longo, M., & Zanni, S. (2020). Circular economy in Italian SMEs: A multi-method study. *Journal of Cleaner Production*, *245*, 118821. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118821

Nabnean, S., & Nimnuan, P. (2020). Experimental performance of direct forced convection household solar dryer for drying banana. *Case Studies in Thermal Engineering*, *22*, 100787. https://doi.org/10.1016/j.csite.2020.100787

Ndukwu, M. C., Simo-Tagne, M., Abam, F. I., Onwuka, O. S., Prince, S., & Bennamoun, L. (2020). Exergetic sustainability and economic analysis of hybrid solar-biomass dryer integrated with copper tubing as heat exchanger. *Heliyon*, *6*(2), e03401. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03401

Nyahuna, T., & Doorasamy, M. (2021). Application of environmental management accounting by small and medium enterprises in South Africa. *Environmental Economics*, *12*(1), 103-111. https://doi.org/10.21511/ee.12(1).2021.09

Oduro, S. (2024). Eco-innovation and SMEs' sustainable performance: a meta-analysis. *European Journal of Innovation Management*, *27*(9), 248-279. https://doi.org/10.1108/ejim-11-2023-0961

Pangarso, A., Sisilia, K., Setyorini, R., Peranginangin, Y., & Awirya, A. A. (2022). The long path to achieving green economy performance for micro small medium enterprise. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, *11*(1), 16. https://doi.org/10.1186/s13731-022-00209-4

Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112 Tahun 2022 tentang Percepatan Pengembangan Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik. (2022). https://jdih.kemenkeu.go.id/dok/perpres-112-tahun-2022

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

Prieto-Sandoval, V., Jaca, C., Santos, J., Baumgartner, R. J., & Ormazabal, M. (2019). Key strategies, resources, and capabilities for implementing circular economy in industrial small and medium enterprises. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, *26*(6), 1473-1484. https://doi.org/10.1002/csr.1761

Reddy Mugi, V., & 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

Rodríguez-Espíndola, O., Cuevas-Romo, A., Chowdhury, S., Díaz-Acevedo, N., Albores, P., Despoudi, S., Malesios, C., & Dey, P. (2022). The role of circular economy principles and sustainable-oriented innovation to enhance social, economic and environmental performance: Evidence from Mexican SMEs. *International Journal of Production Economics*, *248*, 108495. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108495

Saini, R. K., Saini, D. K., Gupta, R., Verma, P., Thakur, R., Kumar, S., & Wassouf, A. (2023). Technological development in solar dryers from 2016 to 2021-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *188*, 113855. https://doi.org/10.1016/j.rser.2023.113855

Shimpy, Kumar, M., & Kumar, A. (2023). Performance Assessment and Modeling Techniques for Domestic Solar Dryers. *Food Engineering Reviews*, *15*(3), 525-547. https://doi.org/10.1007/s12393-023-09335-5

Simo-Tagne, M., Tamkam Etala, H. D., Tagne Tagne, A., Ndukwu, M. C., & El Marouani, M. (2022). Energy, environmental and economic analyses of an indirect cocoa bean solar dryer: A comparison between natural and forced convections. *Renewable Energy*, *187*, 1154-1172. https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.02.015

Singh, P., & Gaur, M. K. (2021). Environmental and economic analysis of novel hybrid active greenhouse solar dryer with evacuated tube solar collector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *47*, 101428. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101428

Singh, S. K., Del Giudice, M., Chiappetta Jabbour, C. J., Latan, H., & Sohal, A. S. (2022). Stakeholder pressure, green innovation, and performance in small and medium-sized enterprises: The role of green dynamic capabilities. *Business Strategy and the Environment*, *31*(1), 500-514. https://doi.org/10.1002/bse.2906

Singh, S., Gill, R. S., Hans, V. S., & Singh, M. (2021). A novel active-mode indirect solar dryer for agricultural products: Experimental evaluation and economic feasibility. *Energy*, *222*, 119956. https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.119956

Srivastava, A., Anand, A., Shukla, A., Kumar, A., Buddhi, D., & Sharma, A. (2021). A comprehensive overview on solar grapes drying: Modeling, energy, environmental and economic analysis. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, *47*, 101513. https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101513

Swalih, M. M., Ram, R., & Tew, E. (2024). Environmental management accounting for strategic decision-making: A systematic literature review. *Business Strategy and the Environment*, *33*(7), 6335-6367. https://doi.org/10.1002/bse.3828

Tomar, V., Tiwari, G. N., & Norton, B. (2017). Solar dryers for tropical food preservation: Thermophysics of crops, systems and components. *Solar Energy*, *154*, 2-13. https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.066

Udomkun, P., Romuli, S., Schock, S., Mahayothee, B., Sartas, M., Wossen, T., Njukwe, E., Vanlauwe, B., & Müller, J. (2020). Review of solar dryers for agricultural products in Asia and Africa: An innovation landscape approach. *Journal of Environmental Management*, *268*, 110730. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110730

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

Watson, A. G., Aleckovic, S., & Nallamothu, R. (2022). A novel and improved solar drying system appropriate for smallholder farmers. *Drying Technology*, *40*(11), 2274-2282. https://doi.org/10.1080/07373937.2021.1931295

Yacob, P., Wong, L. S., & Khor, S. C. (2019). An empirical investigation of green initiatives and environmental sustainability for manufacturing SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, *30*(1), 2-25. https://doi.org/10.1108/jmtm-08-2017-0153

Yao, S., Song, Y., Yu, Y., & Guo, B. (2021). A study of group decision-making for green technology adoption in micro and small enterprises. *Journal of Business & Industrial Marketing*, *36*(1), 86-96. https://doi.org/10.1108/jbim-02-2020-0093

Zachariah, R., Maatallah, T., & Modi, A. (2021). Environmental and economic analysis of a photovoltaic assisted mixed mode solar dryer with thermal energy storage and exhaust air recirculation. *International Journal of Energy Research*, *45*(2), 1879-1891. https://doi.org/10.1002/er.5868

Özbuğday, F. C., Fındık, D., Metin Özcan, K. V. L. M., & Başçı, S. D. K. (2020). Resource efficiency investments and firm performance: Evidence from European SMEs. *Journal of Cleaner Production*, *252*, 119824. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119824