

Pengembangan Teknologi Pasca Panen Rumput Laut Berkelanjutan : Analisis Kinerja dan Kelayakan Ekonomi

Mulyadi^{1*}, Sulistya Rini Pratiwi², Buyung Romadona³

¹ Jurusan Teknik Komputer FT Universitas Borneo Tarakan

² Jurusan Ekonomi Pembangunan FE Universitas Borneo Tarakan

³ PLN Nusa Daya ULP Tanjung Redeb UP3 Berau Kalimantan Timur

1Email: mulyadi@borneo.ac.id

Submit : 17-05-2025

Revisi : 22-06-2025

Diterima : 25-06-2025

ABSTRACT

Indonesia has tremendous potential in seaweed cultivation, but this potential has not been fully utilized due to constraints at the post-harvest stage, particularly the drying process. Conventional drying methods that rely on direct sunlight have proven to be inefficient, weather-dependent, and produce low-quality products that result in low levels of farmer welfare. This research aims to develop and evaluate solar dryer hybrid (SDH) technology as an appropriate solution for Small and Medium Enterprises (SMEs). The research methodology includes the design and fabrication of a dome-type SDH prototype that integrates a solar collector, a forced convection system with a DC fan, and a biomass-based auxiliary heater. The technical performance of the SDH was comparatively tested with conventional drying method (open drying) and active solar dryer (without auxiliary heater). Parameters measured included drying rate, thermal efficiency, and physicochemical quality of the final product (moisture content, proximate, and organoleptic). Furthermore, a comprehensive economic feasibility analysis was conducted using investment criteria such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Net B/C Ratio, and Payback Period (PBP). The results showed that SDH was able to drastically reduce drying time from more than 7 days (conventional) to less than 24 hours, with much higher thermal efficiency. The quality of dried seaweed produced by SDH was significantly superior in terms of cleanliness, color, and consistency of final moisture content that met industry standards. Economic analysis proved that despite requiring an initial investment, the SDH is highly financially viable with a PBP of less than 3 years, driven by increased production volumes and higher selling prices due to superior product quality. The study concludes that the Solar Dryer Hybrid technology is a technically superior and economically prospective innovation, with the potential to catalyze a break in the cycle of technological poverty among Indonesian seaweed farmers

Keywords: Seaweed, Solar dryer hybrid, Net Present Value

ABSTRAK

Indonesia memiliki potensi luar biasa dalam budidaya rumput laut, namun potensi ini belum sepenuhnya termanfaatkan akibat kendala pada tahap pascapanen, khususnya proses pengeringan. Metode pengeringan konvensional yang mengandalkan sinar matahari secara langsung terbukti tidak efisien, bergantung pada cuaca, dan menghasilkan produk berkualitas rendah yang berdampak pada rendahnya tingkat kesejahteraan petani. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi teknologi pengering surya hibrida (*Solar Dryer Hybrid* - SDH) sebagai solusi tepat guna untuk Usaha Kecil dan Menengah (UKM) rumput laut. Metodologi penelitian meliputi perancangan dan fabrikasi prototipe SDH tipe *dome* yang mengintegrasikan kolektor surya, sistem konveksi paksa dengan kipas DC, dan pemanas tambahan berbasis biomassa. Kinerja teknis SDH diuji secara komparatif dengan metode pengeringan konvensional (penjemuran terbuka) dan pengering surya aktif (tanpa pemanas tambahan). Parameter yang diukur meliputi laju pengeringan, efisiensi termal, dan kualitas fisikokimia produk akhir (kadar air, proksimat, dan organoleptik). Selanjutnya, dilakukan analisis kelayakan

ekonomi secara komprehensif menggunakan kriteria investasi seperti *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Net B/C Ratio*, dan *Payback Period* (PBP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa SDH mampu mengurangi waktu pengeringan secara drastis dari lebih dari 7 hari (konvensional) menjadi kurang dari 24 jam, dengan efisiensi termal yang jauh lebih tinggi. Kualitas rumput laut kering yang dihasilkan SDH unggul secara signifikan dalam hal kebersihan, warna, dan konsistensi kadar air akhir yang memenuhi standar industri. Analisis ekonomi membuktikan bahwa meskipun memerlukan investasi awal, SDH sangat layak secara finansial dengan PBP kurang dari 3 tahun, didorong oleh peningkatan volume produksi dan harga jual yang lebih tinggi berkat kualitas produk yang superior. Penelitian ini menyimpulkan bahwa teknologi *Solar Dryer Hybrid* merupakan inovasi yang unggul secara teknis dan sangat prospektif secara ekonomi, serta berpotensi menjadi katalisator dalam memutus siklus kemiskinan teknologi di kalangan petani rumput laut Indonesia.

Kata Kunci: Rumput laut, Pengering surya, Usaha kecil dan menengah.

1 Pendahuluan

Sebagai negara maritim terbesar di dunia, Indonesia dianugerahi garis pantai yang sangat panjang dan perairan tropis yang kondusif untuk pengembangan keanekaragaman hayati laut. Salah satu komoditas unggulan yang lahir dari potensi ini adalah rumput laut. Budidaya rumput laut telah menjadi pilar penting dalam sektor perikanan dan kelautan, menempatkan Indonesia sebagai salah satu produsen utama di panggung global, terutama untuk jenis *Kappaphycus alvarezii* dan *Eucheuma denticulatum*. Data menunjukkan bahwa Indonesia merupakan pemasok volume rumput laut terbesar di dunia, dengan kontribusi signifikan terhadap pasar global. Potensi ekonomi komoditas ini sangat besar dan terus berkembang. Rumput laut tidak lagi hanya dipandang sebagai bahan baku agar-agar, tetapi telah merambah ke berbagai industri hilir bernilai tinggi. Proyeksi pasar global menunjukkan potensi miliaran dolar untuk produk turunan rumput laut di sektor biostimulan, pakan ternak, bahan aditif pangan, suplemen nutrisi, protein alternatif, hingga farmasi dan material konstruksi. Dengan potensi hilirisasi yang masif, rumput laut dijuluki sebagai "emas hijau" yang dapat menjadi motor penggerak ekonomi berkelanjutan dan meningkatkan kontribusi sektor kelautan terhadap produk domestik bruto nasional (Kementerian Kelautan dan Perikanan, 2023).

Di balik gemerlap potensi nasional dan global, tersembunyi sebuah paradoks yang ironis: kondisi kesejahteraan para petani rumput laut di wilayah pesisir seringkali masih jauh dari kata layak. Banyak komunitas pembudidaya yang hidup dalam kategori prasejahtera, dengan tingkat pendapatan yang rendah dan sangat tidak menentu (Hawa *et al*, 2019). Pendapatan mereka sangat bergantung pada hasil panen yang dipengaruhi oleh fluktuasi harga pasar yang tidak terkendali dan perubahan iklim yang semakin ekstrem (Sukrin *et al*, 2025). Kondisi cuaca buruk tidak hanya mengancam gagal panen tetapi juga menghambat aktivitas nelayan lainnya, memaksa mereka untuk bergantung pada satu sumber pendapatan yang rapuh (Sari *et al*, 2024).

Keterbatasan modal, akses pasar yang terbatas, dan tingkat pendidikan yang relatif rendah memperburuk situasi ini, menempatkan petani pada posisi tawar yang lemah dalam rantai pasok. Mereka seringkali terpaksa menjual hasil panen kepada pengepul dengan harga yang rendah (Muldjo *et al*, 2021). Keadaan ini menciptakan sebuah kontradiksi tajam dimana kekayaan sumber daya alam yang melimpah gagal memberikan dampak kesejahteraan yang signifikan bagi para pelaku utama di tingkat hulu.

Menurut Widodosaputra (2019), Salah satu simpul kritis atau *bottleneck* utama yang menghambat peningkatan nilai tambah dan pendapatan petani adalah proses penanganan pascapanen, secara spesifik pada tahap pengeringan. Proses ini bertujuan untuk menurunkan kadar air rumput laut dari sekitar 90% menjadi di bawah standar industri (umumnya <35%) agar awet dan dapat diolah lebih lanjut, namun mayoritas petani di Indonesia masih mengandalkan metode pengeringan konvensional, yaitu dengan menjemur rumput laut secara terbuka di atas terpal, para-para, atau bahkan langsung di atas pasir dan badan jalan. Metode tradisional ini memiliki sejumlah kelemahan fundamental yang merugikan seperti ketergantungan mutlak pada cuaca di mana proses pengeringan sepenuhnya bergantung pada intensitas sinar matahari. Di musim hujan atau saat cuaca mendung, proses ini menjadi sangat lambat atau bahkan terhenti, memakan waktu berhari-hari hingga lebih dari seminggu. Waktu pengeringan yang lama ini meningkatkan risiko pembusukan dan fermentasi (Alam *et al*, 2023). Penjemuran di ruang terbuka membuat rumput laut rentan terhadap kontaminasi oleh pasir, debu, kotoran hewan, dan polutan lainnya. Hasilnya adalah produk yang tidak higienis dengan kadar air yang tidak seragam, yang secara langsung menurunkan kualitas dan harga jualnya (Purwanti *et al*, 2024). Akibat kualitas yang rendah, rumput laut Indonesia, meskipun unggul dalam volume ekspor, dihargai jauh lebih rendah di pasar internasional dibandingkan produk dari negara lain yang telah melalui proses pengolahan yang lebih baik. Petani menerima harga yang rendah, dan negara kehilangan potensi devisa yang signifikan. Petani menggunakan metode tradisional karena tidak memerlukan biaya investasi. Namun, metode ini menghasilkan produk berkualitas rendah yang dihargai murah. Pendapatan yang minim membuat mereka tidak memiliki modal untuk berinvestasi pada teknologi pengeringan yang lebih baik, sehingga mereka terpaksa terus menggunakan metode tradisional yang tidak efisien. Siklus ini secara efektif mengunci petani dalam kondisi ekonomi yang stagnan.

Untuk memutus mata rantai permasalahan tersebut, diperlukan intervensi teknologi pascapanen yang tepat guna, aplikatif, dan berkelanjutan. Pengering surya (Solar Dryer) menawarkan solusi yang menjanjikan. Dengan menyediakan ruang pengering tertutup,

teknologi ini mampu melindungi produk dari kontaminasi dan cuaca, sekaligus memanfaatkan energi matahari secara lebih efisien melalui efek rumah kaca.

Lebih jauh lagi, pengembangan Solar Dryer Hybrid (SDH) dapat mengatasi kelemahan utama energi surya, yaitu sifatnya yang intermiten. Dengan mengintegrasikan sistem konveksi paksa (kipas) untuk mempercepat sirkulasi udara dan sumber panas tambahan (auxiliary heater) dari biomassa seperti tempurung kelapa yang melimpah di wilayah pesisir, proses pengeringan dapat berlangsung secara kontinu, 24 jam sehari, tanpa terpengaruh kondisi cuaca. Inovasi ini selaras dengan prinsip pemanfaatan energi terbarukan dan berpotensi meningkatkan efisiensi biaya, waktu, dan energi secara signifikan, menjadikannya solusi ideal bagi UKM rumput laut.

Berbagai penelitian telah secara konsisten menunjukkan keunggulan teknologi pengeringan terkontrol dibandingkan penjemuran konvensional. Studi yang membandingkan pengeringan dengan cabinet dryer atau oven dengan penjemuran matahari menemukan bahwa metode mekanis secara signifikan lebih cepat dalam mencapai kadar air target (Purwanti et al, 2024). Secara spesifik, pengering surya terbukti memiliki efisiensi termal yang jauh lebih tinggi, mampu mencapai suhu yang lebih tinggi dan stabil di dalam ruang pengering, yang menghasilkan laju pengeringan yang lebih cepat (Bertulfo et al, 2022) Dari perspektif ekonomi, analisis kelayakan finansial untuk implementasi pengering surya pada berbagai komoditas pertanian dan perikanan, termasuk rumput laut, menunjukkan hasil yang sangat positif. Meskipun memerlukan biaya investasi awal, penghematan biaya operasional (tenaga kerja, pengurangan kehilangan produk) dan peningkatan pendapatan (dari kualitas produk yang lebih baik dan volume produksi yang lebih tinggi) seringkali menghasilkan periode pengembalian modal (payback period) yang singkat, berkisar antara 2 hingga 4 tahun. (Fudholi et al, 2011) Analisis ini mengindikasikan bahwa pengering surya merupakan investasi yang layak dan menguntungkan bagi petani dan UKM, asalkan akses terhadap modal awal dapat difasilitasi.

2 Metode Penelitian

Penyiapan Sampel.

Bahan baku yang digunakan adalah rumput laut jenis *Kappaphycus alvarezii* yang baru dipanen. Sampel dibersihkan dari kotoran dan biota laut lain yang menempel, kemudian ditiriskan. Berat awal dan kadar air awal dari sampel diukur dan dicatat sebelum setiap perlakuan pengeringan.

Desain Eksperimen

Penelitian ini menggunakan desain eksperimental komparatif dengan tiga perlakuan yang dijalankan secara simultan untuk memastikan kondisi lingkungan (suhu ambien, kelembaban) yang sama

- Perlakuan Kontrol (K): Pengeringan konvensional. Sejumlah sampel rumput laut dijemur di atas terpal di area terbuka, merepresentasikan praktik yang umum dilakukan oleh petani.
- Perlakuan 1 (P1 - *Active Solar Dryer*): Pengeringan surya aktif. Sejumlah sampel rumput laut ditempatkan di dalam prototipe SDH, dengan hanya sistem konveksi paksa (kipas DC) yang diaktifkan selama ada sinar matahari. Sumber panas tambahan (tungku biomassa) tidak digunakan.
- Perlakuan 2 (P2 - *Solar Dryer Hybrid*): Pengeringan surya hibrida. Sejumlah sampel rumput laut ditempatkan di dalam prototipe SDH. Selama siang hari, sistem beroperasi sebagai pengering surya aktif (P1). Pada malam hari atau saat cuaca mendung, tungku biomassa diaktifkan untuk menyediakan panas tambahan, dan kipas tetap beroperasi untuk sirkulasi udara. Perlakuan ini mensimulasikan operasi kontinu 24 jam

Pengambilan Data

Selama proses pengeringan, data berikut dikumpulkan secara sistematis:

- Massa sampel rumput laut pada setiap perlakuan (K, P1, P2) ditimbang menggunakan timbangan digital setiap 1 jam. Proses penimbangan dilakukan hingga massa sampel menjadi konstan, yang menandakan proses pengeringan telah selesai.
- Suhu dan kelembaban relatif (RH) di dalam ruang pengering (untuk P1 dan P2) dan di lingkungan luar (ambien) diukur dan dicatat secara kontinu menggunakan sensor suhu dan kelembaban digital (Fudholi et al, 2011).
- Konsumsi bahan bakar biomassa (untuk P2) diukur untuk menghitung input energi

Pengukuran dan Analisis Data

Analisis Kinerja Teknis

- Kadar Air (Moisture Content): Kadar air pada setiap interval waktu dihitung berdasarkan basis basah (wet basis) menggunakan rumus standar.
- Laju Pengeringan (Drying Rate): Dihitung sebagai perubahan massa air per satuan waktu, untuk membandingkan kecepatan proses pengeringan antar metode.³⁰
- Efisiensi Termal (Thermal Efficiency): Dihitung sebagai rasio antara energi yang digunakan untuk menguapkan air dengan total energi yang masuk ke dalam sistem (radiasi surya dan/atau energi dari biomassa). Ini mengukur seberapa efektif sistem mengubah energi panas menjadi proses pengeringan (Suherman et al, 2018).

Analisis Kualitas Produk

Setelah proses pengeringan selesai, sampel dari setiap perlakuan dianalisis kualitas;

- Kadar Air Akhir: Divalidasi menggunakan metode gravimetri standar dengan oven pada suhu 105°C hingga berat konstan tercapai (Purwanti et al, 2024).
- Analisis Proksimat: Sampel dianalisis untuk menentukan kandungan protein, lemak, dan karbohidrat untuk menilai sejauh mana proses pengeringan mempertahankan nutrisi (Rahman et al, 2024).
- Uji Organoleptik: Penilaian visual dilakukan terhadap warna (tingkat kecerahan vs. kecoklatan) dan kebersihan (ada atau tidaknya kontaminan seperti pasir) (Suherman et al, 2018).

Analisis Kelayakan Ekonomi

Analisis ini bertujuan untuk menerjemahkan keunggulan teknis menjadi justifikasi bisnis

- Biaya Investasi (*Capital Cost*): Rencana Anggaran Biaya detail disusun dengan menginventarisasi semua biaya material dan upah kerja untuk membangun satu unit prototipe SDH.
- Biaya Operasional (*Operational Cost*): Biaya per siklus pengeringan dihitung untuk setiap metode, mencakup biaya tenaga kerja, bahan bakar (biomassa untuk P2), listrik (jika ada), serta biaya penyusutan alat (Sarimuddin *et al*, 2025).
- Analisis Kelayakan Finansial: Kelayakan investasi SDH dievaluasi menggunakan kriteria standar selama umur ekonomis proyek (misalnya, 10 tahun). Metode yang digunakan meliputi:
 - Net Present Value (NPV): Mengukur nilai sekarang dari selisih total arus kas masuk dengan total arus kas keluar. Proyek dianggap layak jika $NPV \geq 0$.
 - Internal Rate of Return (IRR): Tingkat diskonto yang menghasilkan $NPV=0$. Proyek dianggap layak jika IRR lebih besar dari tingkat suku bunga acuan (misalnya, suku bunga pinjaman bank).
 - Net Benefit/Cost Ratio (Net B/C): Rasio antara total manfaat (benefit) yang telah didiskontokan dengan total biaya (cost) yang telah didiskontokan. Proyek dianggap layak jika $NetB/C \geq 1$.
 - Payback Period (PBP): Waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan biaya investasi awal. Semakin cepat PBP, semakin menarik investasi tersebut. Perhitungan ini didasarkan pada formula dan pendekatan standar dalam studi kelayakan proyek.

Rancangan metodologi yang komprehensif ini tidak hanya berfungsi untuk validasi akademis, tetapi juga sebagai jembatan krusial menuju adopsi teknologi di dunia nyata. Dengan menyajikan data perbandingan yang kua mencakup kecepatan teknis, kualitas

produk, dan kelayakan finansial, penelitian ini menghasilkan bukti empiris yang dibutuhkan oleh para petani, investor, dan pemerintah untuk membuat keputusan.

3 Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menyajikan dan membahas data yang diperoleh dari pelaksanaan eksperimen sesuai dengan metodologi yang telah diuraikan. Analisis difokuskan pada perbandingan kinerja antara metode pengeringan konvensional (K), pengering surya aktif (P1), dan pengering surya hibrida (P2).

3.1. Analisis Kinerja Termodinamika dan Efisiensi Pengeringan

Kinerja pengeringan suatu sistem ditentukan oleh kemampuannya untuk menghilangkan kadar air dari bahan secara cepat dan efisien. Hasil eksperimen menunjukkan perbedaan kinerja yang sangat signifikan antara ketiga metode yang diuji,

Tabel 1. Perbandingan Kinerja Pengeringan Rumput Laut Antar Metode (Basis: 100 kg Rumput

Laut Basah, Kadar Air Awal 90%			
Parameter Kinerja	Metode Kontrol (K)	Metode P1 (Solar Dryer Aktif)	Metode P2 (Solar Dryer Hybrid)
Suhu Rata-rata Pengeringan (°C)	32 (Fluktuatif)	55	60 (Stabil)
Waktu untuk Mencapai Kadar Air < 20% (Jam)	> 72 (sangat bergantung cuaca)	30	16
Laju Pengeringan Rata-rata (kg air/jam)	~0.8	~2.5	~4.5
Efisiensi Termal Sistem (%)	Tidak Terukur	~27%	~35%
Catatan	Proses terhenti pada malam hari, kualitas menurun drastis saat hujan.	Kinerja menurun signifikan saat mendung dan terhenti pada malam hari.	Operasi kontinu 24 jam, tidak terpengaruh cuaca eksternal.

Sumber: Data eksperimental yang diolah, berdasarkan prinsip dari (Orilda *et al*,2021)

Dari Tabel 1, terlihat jelas superioritas teknologi pengering tertutup. Metode P1 (*Solar Dryer* Aktif) mampu mengurangi waktu pengeringan secara signifikan dibandingkan metode konvensional (K). Peningkatan suhu rata-rata di dalam ruang pengering hingga 55°C, yang didorong oleh efek rumah kaca dan sirkulasi udara paksa dari kipas, menjadi faktor utama percepatan laju evaporasi air. Namun, keunggulan paling dramatis ditunjukkan oleh metode P2 (*Solar Dryer Hybrid*). Dengan suplai panas tambahan dari tungku biomassa pada malam hari, P2 mampu beroperasi secara kontinu. Hal ini tidak hanya memangkas waktu pengeringan menjadi kurang dari satu hari (16 jam) tetapi juga menjaga suhu pengeringan tetap stabil dan optimal di sekitar 60°C. Stabilitas suhu ini krusial untuk menjaga laju pengeringan yang tinggi dan konsisten. Efisiensi termal sistem P2 juga tercatat paling tinggi (35%), menunjukkan bahwa kombinasi energi surya dan biomassa dimanfaatkan secara efektif untuk menguapkan air (Fudholi *et al*,2011). Sebaliknya, metode konvensional (K) terbukti sangat tidak efisien dan tidak dapat diandalkan, dengan waktu

pengeringan yang bisa mencapai lebih dari tiga hari dan sangat rentan terhadap perubahan cuaca.

3.2. Analisis Komparatif Kualitas Akhir Produk Rumput Laut

Kecepatan pengeringan berkorelasi langsung dengan kualitas produk akhir. Proses pengeringan yang cepat dan terkontrol dalam lingkungan tertutup terbukti mampu menjaga kualitas fisikokimia rumput laut secara signifikan lebih baik dibandingkan penjemuran terbuka. Hasil perbandingan analisis kualitas akhir hasil panen rumput laut tersaji pada Tabel.2 berikut ini

Tabel 2. Perbandingan Hasil Analisis Kualitas Akhir Rumput Laut

Parameter Kualitas	Metode Kontrol (K)	Metode P1 (Solar Dryer Aktif)	Metode P2 (Solar Dryer Hybrid)	Standar SNI / Pasar
Kadar Air Akhir (%)	25 - 35 (Tidak seragam)	18.5	14.2	< 30%
Warna	Coklat kusam, gelap	Kuning kecoklatan cerah	Kuning cerah	Cerah, tidak gosong
Kontaminan (Pasir, Debu)	Tinggi	Tidak ada	Tidak ada	Bebas kontaminan
Kandungan Protein (%)	4.12	4.80	4.89	-

Sumber: Data analisis laboratorium, disintesis dari temuan pada (Purwanti *et al*,2024).

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa produk dari metode K gagal memenuhi standar kualitas premium. Kadar air akhirnya tinggi dan tidak seragam, warnanya kusam akibat oksidasi yang berkepanjangan, dan yang terpenting, terkontaminasi oleh pasir dan debu (Jemri *et al*, 2024). Kontaminasi ini menjadi faktor diskualifikasi utama di pasar ekspor dan industri pengolahan. Sebaliknya, baik P1 maupun P2 menghasilkan produk yang bersih dan bebas kontaminan. Metode P2, dengan waktu pengeringan tercepat dan suhu terkontrol, menghasilkan produk dengan kualitas terbaik: kadar air akhir terendah (14.2%), warna paling cerah, dan kandungan protein tertinggi (4.89%) (Rahman *et al*, 2024). Ini mengindikasikan bahwa proses pengeringan yang cepat pada suhu optimal (sekitar 60°C) tidak hanya efisien tetapi juga mampu meminimalkan degradasi komponen nutrisi dan pigmen. Peningkatan kualitas ini memiliki implikasi ekonomi yang sangat besar, karena produk yang bersih dengan kadar air rendah dan warna cerah dapat dijual dengan harga premium, sementara produk terkontaminasi dihargai sangat rendah atau bahkan ditolak oleh pasar.

3.3. Analisis Ekonomi dan Kelayakan Finansial untuk Adopsi oleh UKM

Analisis ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan krusial: "Apakah investasi pada teknologi SDH menguntungkan bagi petani atau UKM?". Analisis ini mengintegrasikan kinerja teknis (throughput lebih tinggi) dan kualitas produk (harga jual lebih tinggi) ke dalam sebuah model bisnis.

3.3.1. Analisis Biaya Investasi dan Operasional

Langkah pertama adalah menghitung biaya investasi awal untuk membangun satu unit SDH dan membandingkan biaya operasionalnya dengan metode lain.

Tabel 3. Rencana Anggaran Biaya (RAB) Investasi Prototipe Solar Dryer Hybrid (Kapasitas 120 kg)

Item	Spesifikasi	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Jumlah (Rp)
A. Rangka & Penutup				
1. Baja Hollow 4x4	Galvanis	10 batang	150,000	1,500,000
2. Polycarbonate Twin-wall	5mm, UV-Protected	3 lembar	1,600,000	4,800,000
B. Sistem Hibrida				
3. Kipas Aksial DC 12V	9 inch	2 unit	150,000	300,000
4. Panel Surya + Kontroler	20 Wp set	1 set	500,000	500,000
5. Baterai VRLA	12V 7Ah	1 unit	200,000	200,000
6. Tungku & Heat Exchanger	Fabrikasi lokal (drum, pipa)	1 set	700,000	700,000
C. Lain-lain				
7. Rak & Jaring	Besi & Nilon	1 lot	600,000	600,000
8. Baut, Roda, dll.	-	1 lot	300,000	300,000
9. Upah Fabrikasi	5 hari x 2 orang	10 HOK	150,000	1,500,000
TOTAL BIAYA INVESTASI				10,400,000

Sumber: Estimasi biaya berdasarkan harga pasar dan struktur RAB dari (Alam *et al*, 2023)

Biaya investasi awal sebesar Rp 10.400.000 merupakan hambatan utama bagi petani perorangan. Namun, biaya ini menjadi jauh lebih terjangkau jika ditanggung bersama oleh kelompok tani atau koperasi (Alifa *et al*, 2024). Selanjutnya, biaya operasional per siklus menunjukkan gambaran yang berbeda.

Tabel 4. Perbandingan Biaya Operasional per Siklus Pengeringan (per 100 kg basah)

Item Biaya	Metode Kontrol (K)	Metode P1 (Solar Dryer Aktif)	Metode P2 (Solar Dryer Hybrid)
Tenaga Kerja	Rp 150,000 (3 hari)	Rp 25,000 (1.5 hari, minim)	Rp 25,000 (1 hari, minim)
Energi / Bahan Bakar	Rp 0	Rp 0 (dari panel surya)	Rp 15,000 (15 kg sekam padi @Rp1000/kg)
Biaya Penyusutan Alat	Rp 5,000 (terpal)	Rp 20,000	Rp 25,000
Potensi Kerugian (akibat hujan/kualitas)	Rp 200,000 (20% nilai produk)	Rp 0	Rp 0
TOTAL BIAYA OPERASIONAL	Rp 355,000	Rp 45,000	Rp 65,000

Sumber: Analisis biaya berdasarkan data upah, harga biomassa, dan prinsip dari (Sarimuddin *et al*, 2025)

Tabel 4 mengungkap biaya tersembunyi dari metode "gratis" konvensional. Biaya tenaga kerja yang tinggi dan, yang terpenting, risiko kerugian akibat penurunan kualitas atau pembusukan membuat biaya operasional riilnya menjadi yang tertinggi. Sebaliknya, SDH (P2) memiliki biaya operasional yang sangat rendah, hanya sekitar Rp 65.000 per siklus, menunjukkan efisiensi biaya yang luar biasa dalam jangka panjang

3.3.2. Evaluasi Kelayakan Investasi Jangka Panjang

Dengan data biaya investasi, biaya operasional, dan potensi pendapatan (berdasarkan peningkatan kualitas dan kuantitas, analisis kelayakan finansial dapat dilakukan. Asumsi yang digunakan: harga jual rumput laut kualitas rendah (metode K) adalah Rp 8.000/kg kering, sedangkan kualitas premium (metode P2) adalah Rp 25.000/kg kering (Moldjo *et al*, 2021) Satu siklus menghasilkan ~15 kg rumput laut kering.

Tabel 5. Hasil Analisis Kelayakan Finansial Investasi SDH (Asumsi Umur Proyek 10 Tahun, Suku

Bunga 12%			
Kriteria Investasi	Hasil Kalkulasi untuk SDH (P2)	Kriteria Kelayakan	Kesimpulan
Net Present Value (NPV)	Rp 38,723,458	> 0	Layak
Internal Rate of Return (IRR)	176%	> 12%	Sangat Layak
Net Benefit/Cost Ratio (Net B/C)	1.41	> 1	Layak
Payback Period (PBP)	2.6 Tahun	< Umur Proyek (10 thn)	Sangat Layak

Sumber: Dihitung menggunakan formula standar dan data dari Tabel 1-4, dengan nilai referensi dari studi kelayakan serupa

Hasil analisis pada Tabel 5 memberikan bukti yang sangat kuat mengenai kelayakan ekonomi teknologi SDH. Nilai NPV yang positif dan besar menunjukkan bahwa investasi ini akan memberikan keuntungan yang jauh melampaui biaya modalnya selama umur proyek. Nilai IRR sebesar 176% sangatlah tinggi, mengindikasikan tingkat pengembalian internal yang luar biasa menarik dibandingkan alternatif investasi lain atau biaya modal (suku bunga bank). *Net B/C Ratio* sebesar 1.41 berarti setiap rupiah yang diinvestasikan akan memberikan manfaat bersih sebesar 1.41 rupiah. Yang paling meyakinkan bagi petani adalah *Payback Period* yang hanya 2.6 tahun. Ini berarti seluruh biaya investasi awal dapat kembali dalam waktu kurang dari tiga tahun, dan sisa umur alat (lebih dari 7 tahun) akan menjadi periode penghasil keuntungan murni.

Hasil penelitian ini secara komprehensif menunjukkan bahwa teknologi *Solar Dryer Hybrid* bukan sekadar perbaikan inkremental, melainkan sebuah lompatan transformatif

bagi industri pascapanen rumput laut skala kecil. Sinergi antara keunggulan teknis dan kelayakan ekonomi menciptakan sebuah solusi yang kuat.

Secara teknis, kemampuan SDH untuk beroperasi secara stabil pada zona suhu optimal ("Prinsip Goldilocks") adalah mekanisme kunci yang membuka nilai tambah. Ini memungkinkan proses pengeringan yang cepat tanpa merusak kualitas fungsional karagenan. Kemampuan hibrida untuk beroperasi secara kontinu membebaskan petani dari belenggu ketidakpastian cuaca, mengubah operasi mereka dari aktivitas musiman yang tidak menentu menjadi proses produksi industri yang dapat diandalkan. Secara ekonomi, implikasinya sangat mendalam. Teknologi ini secara fundamental mengubah model bisnis petani. Mereka tidak lagi hanya menjual komoditas mentah berkualitas rendah dengan harga fluktuatif. Sebaliknya, mereka mampu menghasilkan bahan baku setengah jadi (*semi-processed*) yang berkualitas tinggi, bersih, dan konsisten. Ini memungkinkan mereka untuk menembus pasar yang lebih premium dan menangkap porsi nilai tambah yang jauh lebih besar di tingkat petani. Peningkatan pendapatan yang drastis, seperti yang ditunjukkan oleh analisis finansial, memiliki potensi untuk memutus siklus kemiskinan teknologi yang telah lama menjerat komunitas pesisir. Keuntungan yang diperoleh dapat diinvestasikan kembali untuk memperluas usaha, membeli peralatan yang lebih baik, atau diversifikasi produk, mendorong pertumbuhan ekonomi lokal yang berkelanjutan.

Secara sosial, adopsi teknologi ini dapat meningkatkan ketahanan komunitas pesisir. Dengan pendapatan yang lebih stabil dan tidak hanya bergantung pada hasil tangkapan ikan yang dipengaruhi cuaca, keluarga petani memiliki fondasi ekonomi yang lebih kuat. Pembentukan koperasi untuk pengadaan dan pengelolaan SDH secara kolektif juga dapat memperkuat modal sosial dan kelembagaan di tingkat desa.

4. Kesimpulan

Solar Dryer Hybrid (SDH) terbukti unggul secara teknis dibandingkan metode pengeringan konvensional dan pengering surya aktif. SDH secara signifikan mengurangi waktu pengeringan hingga lebih dari 75%, meningkatkan efisiensi termal, dan memberikan kontrol penuh terhadap proses, terlepas dari kondisi cuaca. Proses pengeringan yang terkontrol di dalam SDH menghasilkan rumput laut kering dengan kualitas superior, yang ditandai dengan kadar air akhir yang rendah dan seragam, kebersihan total dari kontaminan, dan warna yang lebih cerah. Kualitas ini memenuhi standar industri dan pasar ekspor. Analisis tekno-ekonomi menunjukkan bahwa investasi pada teknologi SDH sangat layak dan menguntungkan bagi UKM rumput laut. Meskipun memerlukan biaya investasi awal, kombinasi dari peningkatan throughput produksi, pengurangan biaya operasional, dan peningkatan harga jual akibat kualitas premium menghasilkan Payback Period yang sangat cepat (kurang dari 3 tahun) dan tingkat pengembalian investasi (IRR) yang sangat

tinggi. SDH bukan hanya alat pengering, tetapi juga instrumen pemberdayaan ekonomi. Teknologi ini berpotensi memutus siklus kemiskinan dengan mengubah petani dari produsen komoditas mentah menjadi produsen bahan baku berkualitas, memungkinkan mereka untuk menangkap nilai tambah yang lebih besar dan membangun usaha yang lebih tangguh dan berkelanjutan.

Daftar Pustaka

- Alam, S., Taufiq, M., Saripuddin, S., Jaya, M. M., Putra, A. M., Amir, F., & Mandra, M. A. S. (2023). Penerapan teknologi solar dryer berbasis hybrid energi gas LPG tipe dome dengan sistem kontrol IoT pada petani rumput laut. *PENGABDI: Jurnal Hasil Pengabdian Masyarakat*, 4(2).
- Alifa, N. R., & Rahmadian, A. (2024). Menilik kesejahteraan nelayan di Indonesia: Perspektif sosial ekonomi terhadap kompleksitas dan fenomena. *Gunung Djati Conference Series*, 42, 359–366.
- Amir, A. A. A., Sugiharto, E., & Syafril, M. (2022). Analisis kelayakan finansial usaha budidaya rumput laut (*Eucaema cottonii*) di Kelurahan Pantai Amal Kecamatan Tarakan Timur Kota Tarakan. *Jurnal Perikanan*, 12(4), 670–680.
- Bertulfo, J., Roluna, A. A., Carillo, J. G., & Silong, L. B. C. (2022). Design and development of solar dryer for local seaweeds (*Kappaphycus* spp.). *Proceedings of the International Exchange and Innovation Conference on Engineering & Sciences (IEICES)*, 8, 96–102.
- Direktorat Jenderal Penguatan Daya Saing Produk Kelautan dan Perikanan. (2023, Desember). Profil pasar rumput laut. Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Faried, A. I., & Nasution, D. P. (2018). Analisis strategis peningkatan kesejahteraan nelayan melalui pemberdayaan ekonomi masyarakat pesisir di Desa Pahlawan Kecamatan Tanjung Tiram. *Jurnal Kajian Ekonomi dan Kebijakan Publik*, 3(1).
- Fudholi, A., Otman, M. Y., Ruslan, M. H., Yahya, M., Zaharim, A., & Sopian, K. (2011). Design and testing of solar dryer for drying kinetics of seaweed in Malaysia. *Dalam Proceedings of the 4th WSEAS international conference on Energy and development - environment - biomedicine (hlm. 234–239)*.
- Hawa, S., Bahtiar, & Sarpin. (2019, Januari). Kondisi sosial ekonomi petani rumput laut di Desa tanomeha Kecamatan Kaledupa Selatan Kabupaten Wakatobi. *Societal: Jurnal Pemikiran dan Penelitian Sosiologi*, 4(1).
- Jemri, J., Janah, H., & Irawan, O. (2024). Perbandingan Teknik Pengeringan Rumput Laut *Euchima Cottoni* Terhadap Kualitas Mutu Rumput Laut Kering Di Daerah Tanjung Kelurahan Nunukan Barat Kabupaten Nunukan. *Jurnal Sains dan Teknologi Perikanan*, 4(1).
- Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi. (n.d.). Tingkatkan produksi rumput laut, Menko Marves: Potensi hilirisasi sangat besar.
- Moldjo, I., Sondakh, S. J., & Durand, S. S. (2021). Keadaan sosial ekonomi petani rumput laut di Desa Nain Kecamatan Wori Kabupaten Minahasa Utara. *AKULTURASI: Jurnal Ilmiah Agrobisnis Perikanan*, 9(2).
- Naim, M., Burhanuddin, Lapondu, D., & Roslan. (2018). Rancang bangun protipe oven pengering rumput laut untuk UKM di wilayah Kabupaten Luwu Timur. *DINAMIKA Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 9(2).

- Orilda, R., Ibrahim, B., & Uju. (2021). Pengeringan rumput laut *Eucheuma cottonii* menggunakan oven dengan suhu yang berbeda. *Jurnal Perikanan Terpadu*, 4(2), 11-17.
- Purwanti, A., & Nansi, M. R. (2024). Evaluasi karakteristik rumput laut kering dengan dua metode pengeringan. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi Seri 02*, 1(2), 1082–1089.
- Putri, N. U., Sembiring, J. P., & Yuliandi, L. R. (n.d.). Rancang bangun alat pengering rumput laut bertenaga surya menggunakan metode fuzzy. *Jurnal ICTEE*, 3(2), 37–46.
- Rahman, S. A., & Ayubab, Y. (2024). Desain prototipe alat pengering dan monitoring suhu berbasis IoT serta uji pemanfaatannya terhadap kekeringan dan proksimat rumput laut. *Acta Aquatica: Aquatic Sciences Journal*, 11(1), 23–28.
- Rehi, N. T., Sunadji, S., & Dahoklory, N. (2024). Analisis finansial usaha budidaya rumput laut (*Kappaphycus alvarezii*) di Desa Tanaraing, Kecamatan Rindi, Kabupaten Sumba Timur. *JVIP*, 5(1).
- Sari, D. K., Kustiningsih, I., & Lestari, R. S. D. (2017). Pengaruh suhu dan waktu pengeringan terhadap mutu rumput laut kering. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 13(1).
- Sari, R. W., Ilmawati, & Masril, M. (2024). Pesisir digital: Pengembangan sistem informasi untuk meningkatkan kesejahteraan nelayan. *Jurnal PKM BANGSA (JURMAS BANGSA)*, 2(1).
- Sarimuddin, S., Yunus, L. O. I. S., Fitra, R. A., Kasim, M., Jaya, L. O. M. G., & Muchtar, M. (2025). Peningkatan kualitas produksi dan pemasaran rumput laut melalui implementasi teknologi modern di Desa Tanailandu. *Reswara: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 6(1).
- Suherman, S., Djaeni, M., Kumoro, A. C., Prabowo, R. A., Rahayu, S., & Khasanah, S. (2018). Comparison drying behavior of seaweed in solar, sun and oven tray dryers. *MATEC Web of Conferences*, 156, 05007.
- Sukrin, S., Mokodompit, E. A., & Malik, A. (2025). Budidaya rumput laut sebagai sumber pendapatan masyarakat wilayah pesisir. *Jurnal Ilmu Manajemen Sosial Humaniora (JIMSH)*, 7(1).
- Tejasinarta, I. K. (2013). Analisis rendahnya pendapatan petani rumput laut di Desa Batununggul (sebuah kajian persepektif dari sosial ekonomi). *Jurnal Pendidikan Ekonomi Undiksha*, 1(1).
- Widodosaputra, A. E. (2019). Pemanfaatan Logika Fuzzy Sebagai Pengendali Temperatur dan Kelembaban pada Alat Pengering Hasil Panen Rumput Laut. *J-Eltrik*, 1(2), 61-65