FINANCIAL FEASIBILITY AND MARKETING STRATEGY ANALYSIS OF OIL PALM EMPTY FRUIT BUNCH BIOCHAR INVESTMENT AT PT ABC

ANALISIS KELAYAKAN FINANSIAL DAN STRATEGI PEMASARAN INVESTASI *BIOCHAR* TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT PADA PT. ABC

Ikhsan Nurdziky[1], Nina Hairiyah, Endang Puryani Sari
PS D3 Agroindustri, Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Politeknik Negeri Tanah Laut, Pelaihari, Indonesia

Diterima 21 September 2026 / Disetujui 19 Oktober 2026

ABSTRACT

Empty Fruit Bunches (EFB) are the main solid waste from palm oil processing and have substantial potential for value-added utilization. PT ABC generates approximately 26,900 tons of EFB annually, while its utilization remains suboptimal. This study aimed to assess the financial feasibility of EFB-based biochar production at PT ABC, evaluate investment resilience through sensitivity analysis, and formulate a marketing strategy. The study used a descriptive quantitative and qualitative approach based on observation, semi-structured interviews with three key informants, and literature review. Financial feasibility was assessed using Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), Net Benefit-Cost Ratio (Net B/C), Payback Period (PP), and Break-Even Point (BEP) at a 10% discount rate over five years. Sensitivity analysis examined changes in selling price, variable costs, and production volume, while marketing strategy was formulated using Segmenting, Targeting, Positioning (STP) and the 4P marketing mix. The investment was financially feasible, with an NPV of IDR 1,408,529,445, an IRR of 45.70, a Net B/C of 2.10, a PP of 1.93 years, and a BEP of 319.31 tons per year or IDR 638,624,726 in annual sales. All tested sensitivity scenarios remained feasible. Under the combined adverse scenario of a 10% decrease in selling price, a 15% increase in variable costs, and a 10% decrease in production volume, the NPV remained positive at IDR 338,341,780. Selling price was the most sensitive parameter (Sensitivity Index 3.78), followed by production volume (2.58) and variable costs (1.20). The recommended marketing strategy targets internal company demand, plasma farmers, and other oil palm plantation companies in South Kalimantan, positioning EFB-based biochar as an environmentally friendly, value-added soil conditioner. Overall, the investment is financially feasible under the analyzed assumptions and scenarios, while market development should prioritize price stability, product quality and benefit validation, and market validation before expansion.

Keywords : *EFB, biochar, financial feasibility, sensitivity analysis, marketing strategy*

ABSTRAK

Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) merupakan limbah padat utama dari pengolahan kelapa sawit yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan menjadi produk bernilai tambah. PT ABC menghasilkan sekitar 26.900 ton TKKS per tahun, sedangkan pemanfaatannya masih belum optimal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kelayakan finansial produksi *biochar* berbasis TKKS pada PT ABC, menguji ketahanan investasi melalui analisis sensitivitas, serta merumuskan strategi

[1]Korespondensi Penulis :
Email: Ikhsannurdziky@Politala.ac.id

pemasaran. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dan kualitatif melalui observasi, wawancara semi-terstruktur terhadap tiga informan kunci, dan studi literatur. Kelayakan finansial dianalisis menggunakan *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Net Benefit-Cost Ratio* (Net B/C), *Payback Period* (PP), dan *Break-Even Point* (BEP) pada tingkat diskonto 10% selama lima tahun. Analisis sensitivitas dilakukan terhadap perubahan harga jual, biaya variabel, dan volume produksi, sedangkan strategi pemasaran dirumuskan menggunakan pendekatan *Segmenting, Targeting, Positioning* (STP) dan *marketing mix* 4P. Hasil penelitian menunjukkan bahwa investasi layak secara finansial dengan NPV sebesar Rp1.408.529.445, IRR sebesar 45,70%, Net B/C sebesar 2,10, PP selama 1,93 tahun, dan BEP sebesar 319,31 ton per tahun atau setara dengan Rp638.624.726 penerimaan per tahun. Seluruh skenario sensitivitas yang diuji masih menunjukkan kondisi layak. Pada skenario gabungan berupa penurunan harga jual 10%, kenaikan biaya variabel 15%, dan penurunan volume produksi 10%, NPV tetap positif sebesar Rp338.341.780. Harga jual merupakan parameter paling sensitif (Sensitivity Index 3,78), diikuti volume produksi (2,58) dan biaya variabel (1,20). Strategi pemasaran yang direkomendasikan menyasar kebutuhan internal perusahaan, petani plasma, dan perusahaan perkebunan kelapa sawit lainnya di Kalimantan Selatan, dengan produk diposisikan sebagai pembenah tanah berbasis TKKS yang ramah lingkungan dan bernilai tambah. Secara keseluruhan, investasi layak berdasarkan asumsi dan skenario yang dianalisis, sedangkan pengembangan pasar perlu memprioritaskan stabilitas harga, pembuktian mutu dan manfaat produk, serta validasi pasar sebelum ekspansi.

Kata kunci : TKKS, *biochar*, kelayakan finansial, analisis sensitivitas, strategi pemasaran

PENDAHULUAN

Indonesia memegang peranan krusial sebagai salah satu produsen *Crude Palm Oil* (CPO) terbesar di tingkat global. Namun, tingginya intensitas pengolahan kelapa sawit tersebut berimplikasi pada pelepasan limbah padat dalam jumlah yang sangat masif, di mana Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) menjadi porsi limbah terbesar. Proporsi timbulan TKKS dievaluasi mampu mencapai kisaran 22% hingga 25% dari total bobot Tandan Buah Segar (TBS) yang diproses (Rafly et al. 2022). Pada unit pengolahan PT ABC di Kalimantan Selatan yang beroperasi dengan kapasitas olah 45 ton/jam, estimasi akumulasi TKKS dapat menyentuh angka ±26.900 ton tiap tahunnya. Besarnya volume ini mengindikasikan ketersediaan biomassa yang sangat potensial untuk ditransformasikan menjadi komoditas berbasis nilai tambah (*waste-to-value*).

Ketersediaan TKKS dalam jumlah besar perlu diikuti dengan pengelolaan yang mampu memberikan nilai tambah secara ekonomi. Pengelolaan TKKS yang belum optimal dapat menimbulkan permasalahan dalam penanganan dan penyimpanan biomassa, termasuk kebutuhan ruang penampungan serta potensi dampak lingkungan apabila residu tidak dikelola dengan baik (Sindhuwati et al. 2021). Aplikasi langsung TKKS di PT ABC sebagai mulsa organik memang telah diterapkan, namun kontribusi ekonominya bagi finansial perusahaan masih amat terbatas. Oleh sebab itu, dibutuhkan terobosan berbasis prinsip ekonomi sirkular untuk mengonversi residu organik tersebut menjadi produk agroindustri yang bernilai komersial tinggi.

Pemanfaatan limbah TKKS menjadi *biochar* melalui teknologi pirolisis menghadirkan intervensi teknologis yang sangat prospektif dalam kerangka komersialisasi produk agroindustri. Sebagai komoditas padat kaya karbon, *biochar* terbukti efektif berfungsi sebagai pembenah tanah (*soil conditioner*) untuk memulihkan struktur fisikokimia tanah, meningkatkan kapasitas retensi hara dan air, serta mereduksi penggunaan pupuk anorganik (Gusri et al., 2025; Rezki et al., 2023). Namun, informasi mengenai penerapan pengolahan *biochar* berbasis TKKS sebagai investasi pada skala industri perkebunan, khususnya yang mempertimbangkan aspek finansial, risiko perubahan kondisi

pasar, dan strategi pemasaran secara terpadu, masih terbatas.

Kelayakan finansial merupakan salah satu aspek penting yang perlu dianalisis sebelum investasi pengolahan *biochar* direalisasikan. Analisis tersebut dapat dilakukan menggunakan beberapa indikator, antara lain *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Net Benefit-Cost Ratio* (Net B/C), *Payback Period* (PP), dan *Break-Even Point* (BEP). Selain kondisi dasar investasi, perubahan harga jual maupun biaya operasional dapat memengaruhi tingkat kelayakan finansial, sehingga diperlukan analisis sensitivitas untuk mengetahui ketahanan investasi terhadap perubahan kondisi tersebut. Hasil analisis finansial dan sensitivitas selanjutnya perlu didukung oleh strategi pemasaran yang sesuai agar produk *biochar* yang dihasilkan memiliki pasar yang jelas. Pendekatan *Segmenting, Targeting, Positioning* (STP) dan *Marketing Mix* 4P dapat digunakan untuk mengidentifikasi segmen pasar, menentukan target konsumen, membangun posisi produk, serta merumuskan strategi produk, harga, distribusi, dan promosi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini memiliki tiga tujuan, yaitu menganalisis kelayakan finansial investasi *biochar* berbasis TKKS pada PT ABC, menguji ketahanan investasi terhadap risiko fluktuasi pasar melalui analisis sensitivitas, dan merumuskan strategi pemasaran yang tepat bagi produk *biochar* berbasis TKKS pada PT ABC**.** Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi yang mendukung pertimbangan pengembangan investasi pengolahan TKKS menjadi *biochar*, khususnya dari aspek kelayakan finansial, ketahanan terhadap perubahan kondisi pasar, dan strategi pemasaran.

METODE PENELITIAN

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder yang berkaitan dengan ketersediaan Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS), rencana investasi, biaya produksi, harga jual, serta informasi pemasaran *biochar* di PT ABC. Alat yang digunakan meliputi pedoman wawancara dan lembar observasi untuk pengumpulan data lapangan, serta perangkat lunak pengolah angka untuk melakukan perhitungan indikator kelayakan finansial (NPV, IRR, Net B/C, PP, dan BEP) dan analisis strategi pemasaran menggunakan pendekatan *Segmenting, Targeting, Positioning* (STP) dan *marketing mix 4P*.

Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif dengan metode kuantitatif dan kualitatif yang bertujuan untuk menganalisis kelayakan finansial dan merumuskan strategi pemasaran pada rencana investasi pengolahan *biochar* berbasis TKKS. Metode kuantitatif digunakan untuk menghitung dan menganalisis indikator kelayakan finansial, sedangkan metode kualitatif digunakan untuk menggali informasi terkait karakteristik pasar, calon konsumen, serta aspek pemasaran sebagai dasar penyusunan strategi STP dan *marketing mix 4P*.

Penelitian dilaksanakan pada bulan April sampai Juni 2026. Pengolahan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Komputer Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Politeknik Negeri Tanah Laut, sedangkan pengambilan data dilakukan di PT ABC yang beralamat di Jalan A. Yani Km 136, Desa Kintapura, Kecamatan Kintap, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan Selatan.

Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian meliputi pengumpulan data melalui observasi, wawancara, dan studi literatur. Observasi dilakukan dengan mengamati secara langsung kondisi pengelolaan TKKS di

perusahaan untuk mengetahui jumlah dan ketersediaan bahan baku, pola timbulan TKKS, serta sistem penanganan dan penyimpanannya. Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur terhadap 3 informan kunci, yaitu manajer, bagian produksi, dan bagian keuangan PT ABC, yang dipilih secara *purposive* berdasarkan keterlibatan, pengalaman, dan pengetahuan terhadap aspek yang diteliti. Wawancara dilakukan secara langsung dengan durasi 30-60 menit per informan menggunakan pedoman wawancara. Wawancara dilakukan untuk memperoleh data biaya investasi, biaya produksi, biaya tetap dan variabel, kapasitas produksi, harga jual, serta informasi terkait kondisi dan peluang pemasaran produk. Data hasil wawancara digunakan sebagai dasar penyusunan Tabel 1 dan Tabel 2, sedangkan informasi pemasaran hasil wawancara direduksi, dikelompokkan, dan disajikan secara deskriptif berdasarkan aspek *Segmenting, Targeting, Positioning* (STP) dan *marketing mix 4P*.

Dalam penetapan parameter teknis yang tidak tersedia secara aktual di perusahaan, seperti rendemen *biochar*, alokasi bahan baku, dan *discount rate*, nilai parameter ditentukan berdasarkan perbandingan dengan hasil studi literatur sejenis sebagaimana dijabarkan pada bagian Variabel yang Diamati. Studi literatur dilakukan dengan mempelajari buku, jurnal ilmiah, dan laporan penelitian terkait *biochar*, pemanfaatan TKKS, analisis kelayakan finansial, dan strategi pemasaran, sebagai dasar penentuan metode analisis serta asumsi yang digunakan. Selanjutnya, data yang telah terkumpul diolah dan dianalisis untuk menghitung indikator kelayakan finansial dan analisis sensitivitas, serta merumuskan strategi pemasaran produk *biochar*.

Variabel yang Diamati

Variabel yang diamati dalam penelitian ini terdiri atas variabel kelayakan finansial dan variabel strategi pemasaran. Variabel kelayakan finansial meliputi biaya investasi, biaya produksi, penerimaan, serta indikator *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), *Net Benefit Cost Ratio* (Net B/C), *Payback Period* (PP), dan *Break Even Point* (BEP), dengan tingkat suku bunga (*discount rate*) sebesar 10% per tahun yang mengacu pada rerata suku bunga kredit investasi perbankan nasional untuk sektor agroindustri. Periode analisis investasi ditetapkan selama 5 tahun dengan mengacu pada Carolina et al., (2025). Penetapan periode tersebut digunakan sebagai horizon analisis proyek dan tidak dimaksudkan sebagai umur teknis mesin pirolisis.

NPV digunakan untuk mengetahui nilai keuntungan bersih investasi berdasarkan nilai waktu uang, IRR digunakan untuk mengetahui tingkat pengembalian investasi, *Net* B/C digunakan untuk membandingkan manfaat bersih dengan biaya yang dikeluarkan, PP digunakan untuk mengetahui waktu pengembalian modal dan BEP digunakan untuk mengetahui titik impas usaha, yang dihitung dengan rumus BEP (Rp) = Biaya Tetap ÷ (1 − (Biaya Variabel per Unit ÷ Harga Jual per Unit)). Asumsi rendemen *biochar* sebesar 30% dan alokasi bahan baku sebesar 3.000 ton TKKS per tahun ditetapkan berdasarkan kapasitas mesin pirolisis yang tersedia serta hasil triangulasi dengan rentang rendemen pada studi pirolisis TKKS suhu rendah-menengah (Awad et al., 2024; Rahayu et al., 2021), sedangkan harga jual sebesar Rp2.000.000/ton ditetapkan menggunakan pendekatan *cost-plus pricing* berdasarkan estimasi biaya produksi per ton ditambah margin keuntungan yang ditargetkan perusahaan, sebagaimana dijabarkan pada bagian Strategi Pemasaran. Variabel strategi pemasaran dianalisis menggunakan pendekatan *Segmenting, Targeting, Positioning* (STP) dan *marketing mix 4P* yang meliputi *product, price, place*, dan *promotion* (Kotler and Keller 2016), untuk menentukan segmen pasar, target konsumen, posisi produk, serta strategi pemasaran yang sesuai agar produk *biochar* berbasis TKKS dapat diterima dan memiliki daya saing di pasar (Yuniwati 2025).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketersediaan Bahan Baku dan Kapasitas Produksi *Biochar*

Berdasarkan data internal PT ABC, produksi TKKS mencapai ±26.900 ton per tahun. Dalam penelitian ini diasumsikan 3.000 ton per tahun dimanfaatkan sebagai bahan baku *biochar*, atau hanya sekitar 11,15% dari total ketersediaan TKKS perusahaan. Dengan demikian, kebutuhan bahan baku untuk unit produksi *biochar* tidak akan mengganggu operasional utama pabrik maupun pemanfaatan TKKS lain yang sudah berjalan, sehingga pasokan bahan baku dapat dijamin secara berkelanjutan.

Dengan asumsi rendemen *biochar* sebesar 30%, potensi produksi *biochar* dari 3.000 ton TKKS per tahun mencapai ±900 ton. Angka rendemen ini konsisten dengan pemodelan rendemen *biochar* terhadap suhu pirolisis yang menunjukkan proporsi *biochar* sekitar 40% pada suhu ±450–500°C dan menurun pada suhu lebih tinggi (Awad et al. 2024), serta sejalan dengan temuan Rahayu et al., (2021) yang menunjukkan bahwa pirolisis TKKS pada suhu rendah–menengah (350–550°C) menghasilkan *biochar* sebagai produk dominan, dan temuan Rezki et al., (2023) bahwa rendemen produk pirolisis TKKS sangat dipengaruhi oleh suhu operasi. Dengan demikian, asumsi kapasitas produksi 900 ton per tahun pada penelitian ini dinilai realistis untuk diterapkan pada skala industri PT ABC.

Proses produksi *biochar* dilakukan menggunakan metode pirolisis tertutup (*limited oxygen*) pada suhu 400–500°C, dengan waktu proses 3–4 jam mengacu pada Rahayu et al., (2021), dan kapasitas mesin 4 ton/hari untuk output *biochar*. Dengan asumsi kapasitas produksi tersebut setara dengan tingkat utilisasi mesin sebesar 75% dari kapasitas terpasang. Dengan asumsi 300 hari operasi per tahun, produksi *biochar* mencapai 900 ton per tahun (3 ton/hari × 300 hari/tahun). Penetapan utilisasi 75% merupakan asumsi perencanaan kapasitas yang digunakan untuk memberikan ruang terhadap waktu pemeliharaan mesin, hari nonproduktif, dan kemungkinan fluktuasi pasokan bahan baku, bukan berdasarkan pengalaman operasi aktual unit *biochar* di PT ABC.

Kebutuhan tenaga kerja pada satu unit produksi diasumsikan sebanyak 4 orang, terdiri atas 1 operator mesin, 2 tenaga pengangkutan dan pengemasan, serta 1 tenaga administrasi. Status dan dasar penetapan setiap parameter produksi disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter asumsi produksi *biochar*

Parameter	Nilai	Status	Dasar Penetapan
Ketersediaan TKKS	±26.900 ton/tahun	Data perusahaan	Data internal PT ABC
Alokasi TKKS untuk *biochar*	3.000 ton/tahun	Asumsi	Ditetapkan sebesar ±11,15% dari total ketersediaan TKKS untuk menjaga ketersediaan bahan baku bagi operasional dan pemanfaatan TKKS lainnya
Rendemen *biochar*	30%	Asumsi berbasis literatu	Hasil triangulasi rentang rendemen pirolisis TKKS pada suhu rendah–menengah (Awad et al., 2024; Rahayu et al., 2021; Rezki et al., 2023)
Kapasitas mesin pirolisis	4 ton/hari	Asumsi	Kapasitas yang digunakan sebagai dasar perencanaan investasi
Kapasitas produksi *biochar*	3 ton/hari	Asumsi	Ditetapkan pada 75% dari kapasitas terpasang untuk mempertimbangkan waktu pemeliharaan dan kondisi operasional
Hari operasi	300 hari/tahun	Asumsi	Penetapan hari operasi efektif dengan mempertimbangkan hari nonproduktif untuk pemeliharaan dan gangguan operasional

Parameter	Nilai	Status	Dasar Penetapan
Produksi *biochar*	±900 ton/tahun	Hasil perhitungan	3 ton/hari × 300 hari/tahun
Utilisasi kapasitas mesin	75%	Hasil perhitungan	3 ton/hari ÷ 4 ton/hari × 100%
Tenaga kerja	4 orang/unit	Asumsi	Kebutuhan operasional unit yang terdiri atas 1 operator mesin, 2 tenaga pengangkutan dan pengemasan, serta 1 tenaga administrasi

Biaya Investasi dan Biaya Produksi

Total biaya investasi awal yang dibutuhkan untuk usaha produksi *biochar* sebesar Rp1.278.000.000, dengan rincian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Biaya Investasi Awal

No	Jenis Biaya	Nilai (Rp)	%	Dasar Estimasi/ Sumber
1	Mesin *pirolisis*	750.000.000	58,69	Estimasi harga pasar mesin pirolisis dengan kapasitas 4 ton/hari dan spesifikasi yang disesuaikan untuk pengolahan TKKS
2	Pekerjaan instalasi mesin	60.000.000	4,69	Estimasi biaya instalasi berdasarkan kebutuhan pemasangan dan *commissioning* mesin
3	Panel kontrol & kelistrikan	60.000.000	4,69	Estimasi biaya kebutuhan panel kontrol, instalasi listrik, kabel, dan komponen pendukung
4	Bangunan ruang produksi	230.000.000	18,00	Estimasi RAB pembangunan ruang produksi sesuai kebutuhan operasional
5	Gudang bahan baku & produk	60.000.000	4,69	Estimasi RAB pembangunan gudang bahan baku dan penyimpanan produk
6	Mesin *crusher*	20.000.000	1,56	Estimasi harga pasar mesin *crusher* dengan kapasitas rencana minimal 10 ton TKKS/hari, sesuai kebutuhan bahan baku produksi.
7	Mesin ayakan	10.000.000	0,78	Estimasi harga pasar mesin ayakan dengan kapasitas rencana minimal 3 ton *biochar*/hari, sesuai kapasitas produksi efektif.
8	Peralatan K3 & keselamatan kerja	15.000.000	1,17	Estimasi harga pasar peralatan K3 dan perlengkapan keselamatan kerja
9	Peralatan kantor	10.000.000	0,78	Estimasi harga pasar peralatan administrasi dan operasional kantor
10	Biaya perizinan usaha	15.000.000	1,17	Estimasi biaya pengurusan perizinan dan dokumen pendukung usaha
11	Biaya tak terduga (*contingency*)	30.000.000	2,35	Asumsi biaya tak terduga untuk mengantisipasi kebutuhan tambahan selama tahap investasi
12	Biaya uji laboratorium	10.000.000	0,78	Estimasi anggaran pengujian mutu awal *biochar*, meliputi kadar air, kadar abu, pH, karbon, serta unsur hara utama (N, P, dan K), termasuk preparasi dan kemungkinan pengujian ulang sampel.
13	Pelatihan tenaga kerja	8.000.000	0,63	Estimasi biaya pelatihan tenaga kerja untuk pengoperasian, keselamatan, dan penanganan produk
	Total Biaya Investasi Awal	1.278.000.000	100	

Komponen biaya terbesar berasal dari mesin pirolisis, yaitu sebesar 58,69% dari total investasi, karena merupakan peralatan utama yang mendukung kapasitas dan proses produksi *biochar*. Dominasi biaya peralatan utama pada struktur investasi ini sejalan dengan temuan pada kajian kelayakan usaha berbasis teknologi pengolahan, yang menunjukkan bahwa komponen mesin dan peralatan produksi dapat menjadi komponen utama dalam kebutuhan modal investasi awal (Nugroho and Margana 2024). Komponen terbesar kedua adalah bangunan ruang produksi sebesar 18,00%, yang diperlukan untuk menunjang operasional mesin pirolisis serta mendukung pengaturan kegiatan produksi dan keselamatan kerja**.** Sementara itu, komponen biaya lainnya memiliki proporsi relatif kecil (masing-masing di bawah 5%) namun tetap penting sebagai penunjang kelancaran operasional. Secara keseluruhan, struktur biaya investasi ini menunjukkan bahwa komponen utama kebutuhan modal awal telah diidentifikasi dan diperhitungkan dalam perencanaan investasi produksi *biochar***.**

Biaya produksi tahunan usaha *biochar* dibedakan menjadi biaya tetap dan biaya variabel, dengan rincian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Biaya Produksi Tahunan

No	Uraian	Per Bulan (Rp)	Biaya (Rp/Tahun)
A. Biaya Tetap			
1	Bahan baku (TKKS)	0	0
2	Tenaga kerja (4 orang)	28.000.000	336.000.000
3	Biaya administrasi usaha	5.000.000	60.000.000
4	Biaya perizinan & retribusi	1.750.000	21.000.000
5	Biaya keamanan & kebersihan	1.625.000	19.500.000
Subtotal Biaya Tetap			436.500.000
B. Biaya Variabel			
1	Biaya transportasi bahan	3.750.000	45.000.000
2	Biaya bahan bakar/listrik	15.975.000	191.700.000
3	Upah tenaga kerja harian	7.500.000	90.000.000
4	Biaya pemeliharaan rutin	12.500.000	150.000.000
5	Biaya pengemasan	7.750.000	93.000.000
Subtotal Biaya Variabel			569.700.000
Total Biaya Produksi Operasional			1.006.200.000

Klasifikasi biaya produksi pada penelitian ini didasarkan pada hubungan antara biaya dan tingkat aktivitas produksi. Biaya tetap merupakan biaya yang relatif tidak berubah terhadap perubahan volume produksi dalam kisaran kapasitas operasi yang direncanakan, sedangkan biaya variabel merupakan biaya yang berubah mengikuti tingkat aktivitas atau volume produksi. Berdasarkan dasar tersebut, biaya tenaga kerja tetap, administrasi usaha, perizinan dan retribusi, serta keamanan dan kebersihan dikategorikan sebagai biaya tetap. Bahan baku TKKS dicatat sebesar Rp0 karena bahan baku berasal dari limbah internal PT ABC sehingga tidak terdapat biaya pembelian bahan baku dari pihak eksternal.

Biaya transportasi bahan, bahan bakar/listrik, upah tenaga kerja harian, dan pengemasan dikategorikan sebagai biaya variabel karena besarnya biaya berkaitan dengan aktivitas produksi dan jumlah bahan atau produk yang ditangani. Hubungan antara biaya variabel dan volume produksi dapat

dinyatakan dengan persamaan (BV = b \times Q), dengan (BV) adalah total biaya variabel (Rp/tahun), (b) adalah biaya variabel per unit produk (Rp/ton), dan (Q) adalah volume produksi (ton/tahun). Dengan demikian, peningkatan volume produksi akan meningkatkan biaya variabel sesuai dengan biaya variabel per unit.

Biaya pemeliharaan rutin dalam penelitian ini diperlakukan sebagai biaya variabel karena estimasinya didasarkan pada tingkat penggunaan dan aktivitas operasional mesin. Semakin tinggi penggunaan mesin, semakin besar kebutuhan pemeliharaan yang diperkirakan. Oleh karena itu, biaya pemeliharaan dimasukkan ke dalam biaya variabel dalam analisis finansial. Meskipun demikian, biaya pemeliharaan secara konseptual dapat bersifat tetap, semi-variabel, maupun variabel, bergantung pada pola penggunaan mesin dan dasar penganggarannya. Klasifikasi sebagai biaya variabel dalam penelitian ini merupakan asumsi perencanaan karena belum tersedia data historis pemeliharaan aktual dari unit produksi *biochar* PT ABC.

Berdasarkan hasil perhitungan, total biaya tetap sebesar Rp436.500.000 per tahun dan biaya variabel sebesar Rp569.700.000 per tahun. Dengan demikian, total biaya produksi operasional yang digunakan dalam analisis finansial adalah sebesar Rp1.006.200.000 per tahun. Biaya tetap berkontribusi sebesar 43,38%, sedangkan biaya variabel sebesar 56,62% terhadap total biaya operasional. Proporsi biaya variabel yang lebih besar terutama berasal dari biaya bahan bakar/listrik, pemeliharaan rutin, dan pengemasan. Oleh karena itu, efisiensi penggunaan energi, pengendalian biaya pemeliharaan, serta efisiensi penggunaan bahan dan kemasan menjadi aspek penting dalam pengendalian biaya operasional usaha *biochar*.

Penerimaan, Pendapatan, dan Kelayakan Finansial

Penerimaan usaha *biochar* diperoleh dari hasil produksi sebesar 900 ton/tahun dikalikan dengan harga jual sebesar Rp2.000.000/ton, sehingga penerimaan tahunan mencapai Rp1.800.000.000. Untuk menganalisis kelayakan finansial, arus kas bersih (*Net Cash Flow*) dihitung berdasarkan penerimaan dan biaya operasional dengan memperhitungkan penyusutan aset menggunakan metode garis lurus serta Pajak Penghasilan (PPh) Badan sebesar 22% atas laba sebelum pajak. Berdasarkan data sebelumnya, biaya operasional yang digunakan dalam analisis adalah sebesar Rp1.006.200.000 per tahun, yang terdiri atas biaya tetap Rp436.500.000 dan biaya variabel Rp569.700.000.

Nilai investasi awal (*Capex*) sebesar Rp1.278.000.000 diasumsikan memiliki nilai sisa aset (*salvage value*) sebesar Rp278.000.000 pada akhir periode analisis tahun ke-5. Dalam model finansial ini, nilai yang dapat disusutkan dihitung dari selisih antara investasi awal dan nilai sisa, sehingga diperoleh dasar penyusutan sebesar Rp1.000.000.000 dan penyusutan garis lurus sebesar Rp200.000.000 per tahun. Pendekatan tersebut digunakan sebagai asumsi penyederhanaan dalam model finansial penelitian, dengan menganggap nilai investasi awal sebagai basis aset proyek dan nilai sisa sebagai nilai aset yang masih tersisa pada akhir periode analisis.

Berdasarkan penerimaan tahunan sebesar Rp1.800.000.000 dan biaya operasional sebesar Rp1.006.200.000, diperoleh laba sebelum penyusutan sebesar Rp793.800.000. Setelah dikurangi penyusutan sebesar Rp200.000.000, laba sebelum pajak menjadi Rp593.800.000. Dengan tarif PPh Badan sebesar 22%, pajak yang harus dibayarkan adalah Rp130.636.000, sehingga diperoleh laba bersih setelah pajak sebesar Rp463.164.000. Arus kas bersih tahunan kemudian diperoleh dengan menambahkan kembali penyusutan karena penyusutan merupakan biaya nonkas, sehingga arus kas bersih tahun ke-1 sampai tahun ke-4 sebesar Rp663.164.000 per tahun. Pada tahun ke-5, arus kas bersih ditambah nilai sisa aset sebesar Rp278.000.000 sehingga menjadi Rp941.164.000. Rincian proyeksi pendapatan dan arus kas disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Proyeksi Arus Kas Investasi *Biochar* PT ABC

Tahun	Penerimaan (Rp)	Biaya Operasional (Rp)	Penyusutan (Rp)	Laba Sebelum Pajak (Rp)	Pajak 22% (Rp)	Laba Bersih (Rp)	Arus Kas Bersih (Rp)
0	0	0	0	0	0	0	(1.278.000.000)*
1	1.800.000.000	1.006.200.000	200.000.000	593.800.000	130.636.000	463.164.000	663.164.000
2	1.800.000.000	1.006.200.000	200.000.000	593.800.000	130.636.000	463.164.000	663.164.000
3	1.800.000.000	1.006.200.000	200.000.000	593.800.000	130.636.000	463.164.000	663.164.000
4	1.800.000.000	1.006.200.000	200.000.000	593.800.000	130.636.000	463.164.000	663.164.000
5	1.800.000.000	1.006.200.000	200.000.000	593.800.000	130.636.000	463.164.000	941.164.000**

Keterangan:
(*) Arus kas tahun ke-0 merupakan pengeluaran investasi awal (*Capex*) sebesar Rp1.278.000.000. (**) Arus kas bersih tahunan diperoleh dari laba bersih setelah pajak ditambah penyusutan karena penyusutan merupakan biaya non kas. Berdasarkan hasil perhitungan, laba bersih setelah pajak sebesar Rp463.164.000 ditambah penyusutan sebesar Rp200.000.000 menghasilkan arus kas bersih sebesar Rp663.164.000 per tahun. Pada tahun ke-5, arus kas bersih ditambahkan dengan nilai sisa aset (*salvage value*) sebesar Rp278.000.000 sehingga arus kas bersih tahun ke-5 menjadi Rp941.164.000. Arus kas bersih tersebut digunakan sebagai dasar pendiskontoan dalam perhitungan NPV, IRR, Net B/C dan PP.

Untuk menganalisis kelayakan finansial yang mempertimbangkan nilai waktu uang (*time value of money*), digunakan metode *Discounted Cash Flow* (DCF) dengan tingkat diskonto (*discount rate*) sebesar 10% yang mencerminkan biaya modal rata-rata tertimbang atau tingkat pengembalian yang diharapkan (Putra, Sri, and Yoga 2020). Penggunaan analisis arus kas terdiskonto juga relevan dalam evaluasi ekonomi proyek *biochar* karena NPV dan indikator pengembalian digunakan untuk menilai kelayakan investasi pada berbagai skenario produksi *biochar* (Hu et al. 2024)**.** Faktor diskonto dan nilai sekarang (*Present Value*/PV) masing-masing tahun ditampilkan pada Tabel 5.

Rumus NPV yang digunakan adalah:

$$\mathrm{NPV} = \sum_{t=0}^{n} \frac{\mathrm{CF}_t}{(1+i)^t}$$

Faktor diskonto dihitung dengan rumus:

$$\mathrm{DF}_t = \frac{1}{(1+i)^t}$$

Sedangkan nilai sekarang arus kas setiap tahun dihitung dengan:

$$\mathrm{PV}_t = \mathrm{CF}_t \times \mathrm{DF}_t$$

Keterangan:
DF_t = faktor diskonto pada periode ke-t
PV_t = nilai sekarang (*Present Value*) arus kas pada periode ke-t
CF_t = arus kas bersih pada periode ke-t
i = tingkat diskonto (10%)
t = periode atau tahun ke-t

Tabel 5. Perhitungan *Present Value* dan NPV (Tingkat Diskonto 10%)

Tahun	Arus Kas Bersih (CF_t)	Faktor Diskonto (DF_t)	PV Arus Kas (Rp) (PV_t)
0	(1.278.000.000)	1,0000	(1.278.000.000)
1	663.164.000	0,9091	602.876.364
2	663.164.000	0,8264	548.069.421
3	663.164.000	0,7513	498.244.929
4	663.164.000	0,6830	452.949.935
5	941.164.000	0,6209	584.388.796
Total PV Kas Masuk (Benefit)			2.686.529.445
NPV			1.408.529.445

Tabel 5 menunjukkan secara rinci sumber nilai sekarang setiap arus kas, sehingga seluruh nilai PV dapat ditelusuri dari arus kas bersih dan faktor diskonto yang digunakan. Dengan demikian, nilai Rp 2.686.529.445 merupakan akumulasi PV arus kas masuk tahun ke-1 sampai tahun ke-5 dan tidak terdapat komponen PV lain di luar arus kas yang telah disajikan pada Tabel 4. Angka Rp 2.264.237 juta yang tercantum pada versi sebelumnya tidak digunakan dalam perhitungan revisi karena tidak konsisten dengan arus kas bersih dan faktor diskonto 10% pada Tabel 4 dan Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5, total nilai sekarang arus kas masuk selama lima tahun sebesar Rp 2.686.529.445. Setelah dikurangi investasi awal sebesar Rp 1.278.000.000, diperoleh nilai *Net Present Value* (NPV) yang dihitung menggunakan rumus:

$$\text{NPV} = \left(\sum_{t=1}^{n} \frac{\text{Arus Kas Masuk}_t}{(1+i)^t} \right) - \text{Investasi Awal}$$

NPV = Rp 2.686.529.445 – Rp 1.278.000.000

NPV = Rp 1.408.529.445

Nilai NPV yang positif ($NPV > 0$) menunjukkan bahwa nilai sekarang arus kas masuk lebih besar daripada investasi awal pada tingkat diskonto 10%, sehingga investasi *biochar* TKKS PT ABC memenuhi kriteria kelayakan berdasarkan indikator NPV. Penggunaan NPV sebagai salah satu indikator utama penilaian kelayakan investasi juga diterapkan dalam penelitian agroindustri oleh Francis et al., (2024)**.** Hasil ini juga sejalan dengan kajian *techno-economic biochar* yang menggunakan NPV sebagai indikator utama dalam menentukan kelayakan finansial suatu skenario produksi *biochar* (Hu et al. 2024).

Analisis *Net Benefit/Cost Ratio* (Net B/C) digunakan untuk membandingkan nilai sekarang

$$\text{Net B/C} = \frac{\sum_{t=1}^{n} \text{PV Arus Kas Bersih}_t}{\text{Investasi Awal}}$$

manfaat dengan nilai sekarang biaya investasi. Karena seluruh arus kas operasional tahun ke-1 hingga ke-5 bernilai positif dan satu-satunya arus kas negatif terjadi pada investasi awal (Tahun ke-0), maka rumus Net B/C yang digunakan adalah:

$$\text{Net B/C} = \frac{Rp\ 2.686.529.445}{Rp\ 1.278.000.000} = 2{,}10$$

Nilai Net B/C sebesar 2,10 menunjukkan bahwa setiap Rp1,00 nilai sekarang biaya investasi menghasilkan sekitar Rp2,10 nilai sekarang arus kas bersih positif. Dengan kriteria Net B/C > 1, investasi dinyatakan layak berdasarkan indikator Net B/C. Hasil ini sejalan dengan Simanjuntak et

al., (2025) yang menggunakan kriteria Net B/C > 1 sebagai indikasi bahwa suatu usaha dinyatakan layak secara finansial. Penggunaan Net B/C bersama NPV dan IRR juga umum digunakan dalam analisis kelayakan finansial agroindustri.

Untuk menentukan nilai *Internal Rate of Return* (IRR), dilakukan metode interpolasi linier antara tingkat diskonto yang menghasilkan NPV positif (i_1) dan tingkat diskonto uji coba yang menghasilkan NPV negatif (i_2). Rumus interpolasi linier IRR yang digunakan mengacu pada metodologi standar evaluasi proyek (Bani, Purwoto, and Listiyani 2026) :

$$\text{IRR} = i_1 + \left[\frac{\text{NPV}_1}{\text{NPV}_1 - \text{NPV}_2}\right] \times (i_2 - i_1)$$

Dengan menggunakan i_1= 10% (NPV_1 = Rp 1.408.529.445) dan uji coba tingkat diskonto i_2 = 46% (NPV_2 = - Rp 11.752.282), perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\text{IRR} = 10\% \frac{Rp\ 1.408.529.445}{Rp\ 1.408.529.445 - (-11.752.282)}\ X\ (46\% - 10\%) = 45{,}70\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan interpolasi terhadap arus kas proyek, diperoleh nilai *Internal Rate of Return* (IRR) sebesar 45,70%**.** Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan tingkat diskonto yang digunakan, yaitu 10% sehingga investasi memenuhi kriteria kelayakan berdasarkan indikator IRR. Kriteria tersebut sejalan dengan hasil penelitian Yusron et al., (2025) yang menunjukkan bahwa usaha dinyatakan layak ketika nilai IRR lebih besar daripada tingkat diskonto yang digunakan. Dengan demikian, tingkat pengembalian internal investasi lebih besar daripada tingkat pengembalian yang disyaratkan, sehingga usaha produksi *biochar* dinyatakan layak secara finansial berdasarkan kriteria IRR.

Jenis Payback Period (PP) yang digunakan dalam penelitian ini adalah *simple/undiscounted Payback Period*, yaitu periode yang diperlukan untuk mengembalikan investasi awal berdasarkan arus kas bersih nominal tanpa memperhitungkan faktor diskonto**.** Metode ini digunakan sebagai informasi tambahan mengenai kecepatan pengembalian investasi, sedangkan NPV tetap digunakan untuk mempertimbangkan nilai waktu uang. Karena investasi awal sebesar Rp1.278.000.000 belum tertutup pada akhir tahun pertama, maka:

$$\text{PP} = t_{\text{sebelum balik modal}} + \left(\frac{\text{Sisa Investasi Awal}}{\text{Arus Kas Tahun Berjalan}}\right)$$

$$\text{PP} = 1\ tahun\ + \frac{Rp\ 1.278.000.000 - Rp\ 663.164.000}{Rp\ 663.164.000}$$

PP = 1 + 0,93 = 1,93 Tahun

Payback Period (PP) usaha produksi *biochar* TKKS PT ABC diperoleh sebesar 1,93 tahun**,** atau sekitar 1 tahun 11 bulan. Nilai tersebut menunjukkan bahwa investasi awal sebesar Rp1.278.000.000 dapat kembali sebelum akhir periode analisis lima tahun, sehingga menunjukkan periode pengembalian investasi yang relatif cepat. Hasil ini lebih singkat dibandingkan penelitian Hu et al., (2024)pada produksi *biochar* dari kotoran ternak yang memperoleh *payback period* sebesar 4,6 tahun. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh kapasitas produksi, besarnya investasi awal, harga jual *biochar*, serta biaya operasional yang digunakan dalam masing-masing skenario.

Karena analisis NPV dalam penelitian ini menggunakan pendekatan *Discounted Cash Flow* dengan tingkat diskonto 10%, maka *Discounted Payback Period* (DPP) disajikan sebagai informasi tambahan untuk mengetahui waktu pengembalian investasi setelah mempertimbangkan nilai waktu uang. Berdasarkan Tabel 5, akumulasi PV arus kas sampai tahun kedua adalah:

PV kumulatif tahun ke-2 = PV_1 + PV_2

PV kumulatif tahun ke-2 = Rp602.876.364 + Rp548.069.421 = Rp1.150.945.785

Sehingga investasi yang masih belum tertutup pada akhir tahun kedua adalah:

$$I_0 - PV_2(\text{kumulatif}) = \text{Rp}1.278.000.000 - \text{Rp}1.150.945.785 = \text{Rp}127.054.215$$

PV arus kas pada tahun ketiga sebesar Rp498.244.929. Dengan demikian, *Discounted Payback Period* dihitung sebagai:

DPP = 2 + (Rp127.054.215 / Rp498.244.929)
DPP = 2 + 0,255
DPP = 2,26 tahun

Dengan demikian, *Discounted Payback Period* investasi *biochar* TKKS PT ABC adalah sekitar 2,26 tahun atau sekitar 2 tahun 3 bulan. Nilai ini lebih panjang dibandingkan *simple Payback Period* sebesar 1,93 tahun karena DPP telah memperhitungkan faktor diskonto dan nilai waktu uang. Penggunaan DPP sebagai indikator tambahan dalam analisis ekonomi *biochar* juga diterapkan oleh Hu et al., (2024).

Break Even Point (BEP) dihitung untuk mengetahui tingkat produksi minimum yang harus dicapai agar penerimaan sama dengan total biaya. Biaya tetap yang digunakan sebesar Rp436.500.000/tahun, sedangkan biaya variabel sebesar Rp569.700.000/tahun pada volume produksi 900 ton/tahun.

$$\text{Biaya Variabel per Ton} = \frac{\text{Total Biaya Variabel}}{\text{Volume Produksi}}$$

$$\text{Biaya variabel per ton} = \frac{Rp569.700.000}{900\ ton} = Rp\ 633.000/ton$$

BEP dalam unit volume (ton) dihitung menggunakan rumus:

BEP (ton) = Biaya Tetap / (Harga Jual per Ton – Biaya Variabel per Ton)
BEP (ton) = Rp 436.500.000 / (Rp 2.000.000 – Rp 633.000)
BEP (ton) = 319,31 ton/tahun.

Selanjutnya, BEP dalam nilai penjualan dihitung sebagai:

BEP (Rp) = BEP (ton) × Harga Jual
BEP (Rp) = 319,31 ton × Rp 2.000.000
BEP (Rp) =Rp 638.624.726/tahun.

Dengan demikian, usaha harus menghasilkan dan menjual sekitar 319,31 ton *biochar* atau penerimaan sekitar Rp 638.624.726 per tahun untuk mencapai titik impas. Pada kapasitas produksi yang direncanakan sebesar 900 ton/tahun, volume produksi aktual berada jauh di atas BEP. Kondisi ini mengindikasikan bahwa usaha berada dalam zona aman operasional dan berpotensi menghasilkan laba yang optimal (Silitonga et al. 2026).

Untuk mengetahui tingkat keamanan volume produksi terhadap titik impas, dihitung *Margin of Safety* (MOS) sebagai berikut:

MOS = [(Volume Aktual – BEP) / Volume Aktual] × 100%
MOS = [(900 – 319,31) / 900] × 100%
MOS = 64,52%

Nilai *Margin of Safety* sebesar 64,52% menunjukkan bahwa volume produksi masih dapat mengalami penurunan sebesar 64,52% dari volume aktual 900 ton/tahun sebelum mencapai titik impas. Kondisi ini mengindikasikan bahwa usaha berada di atas titik impas dan memiliki ruang penurunan volume produksi sebelum mengalami kerugian. Analisis BEP dan sensitivitas terhadap

parameter ekonomi penting dalam menilai ketahanan kelayakan usaha *biochar* karena harga jual dan biaya operasi dapat berpengaruh signifikan terhadap kinerja ekonomi proyek (Hu et al. 2024). Ringkasan hasil analisis kelayakan finansial disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Ringkasan Analisis Kelayakan Finansial *Biochar*

No	Kriteria Kelayakan	Hasil Nilai	Kriteria Penilaian	Kesimpulan
1	Net B/C	2,10	Net B/C > 1	Layak
2	PP	1,93 tahun	< 5 tahun	Layak
3	NPV	Rp 1.408.529.445	> 0	Layak
4	IRR	45,70%	> suku bunga (10%)	Layak
5	BEP	Rp 638.624.726/tahun (319,31 ton)	Penerimaan > BEP	Layak

Berdasarkan hasil analisis, investasi pengolahan *biochar* berbasis TKKS pada PT ABC dinyatakan layak berdasarkan asumsi dan skenario yang digunakan. Hal ini ditunjukkan oleh nilai Net B/C sebesar 2,10, PP sebesar 1,93 tahun, NPV sebesar Rp1.408.529.445, IRR sebesar 45,70%, serta BEP sebesar 319,31 ton/tahun atau setara Rp638.624.726/tahun. Hasil tersebut menunjukkan bahwa investasi memiliki prospek finansial yang positif, dengan tetap mempertimbangkan kemungkinan perubahan harga jual, volume produksi, biaya operasional, dan parameter ekonomi lainnya yang dapat memengaruhi hasil kelayakan.

Analisis Sensitivitas

Hasil analisis kelayakan finansial di atas dihitung berdasarkan kondisi dasar (*base case*) yang bersifat statis, sehingga perlu diuji lebih lanjut terhadap kemungkinan perubahan kondisi ekonomi dan pasar di masa mendatang. Guna menguji ketahanan proyek terhadap fluktuasi ketidakpastian ekonomi dan dinamika pasar selama umur proyek (5 tahun), dilakukan analisis sensitivitas berdasarkan tiga skenario simulasi risiko, mengikuti pendekatan pengujian skenario tunggal dan kombinasi yang lazim digunakan dalam evaluasi ketahanan kelayakan finansial suatu usaha (Putra and Sakinah 2024).

Penurunan harga jual sebesar 10% dan kenaikan biaya variabel sebesar 15% digunakan sebagai skenario *stress test* untuk mengevaluasi ketahanan finansial investasi terhadap perubahan kondisi ekonomi yang merugikan**.** Besaran perubahan tersebut tidak dimaksudkan sebagai proyeksi perubahan aktual PT ABC, melainkan sebagai skenario hipotetis untuk menguji sensitivitas dan *resilience* investasi terhadap tekanan pada sisi penerimaan dan biaya**.** Pemilihan skenario ini didukung oleh penelitian Sivaraman & Selvasembian, (2026) yang melakukan *techno-economic analysis* pada produksi *biochar* berbasis biomassa limbah dan menunjukkan pentingnya aspek ekonomi dalam menilai kelayakan serta potensi pengembangan produksi *biochar* pada skala industri. Dengan demikian, skenario penurunan harga jual sebesar 10% dan kenaikan biaya variabel sebesar 15% dalam penelitian ini digunakan semata-mata sebagai pengujian risiko (*stress test*) untuk mengetahui kemampuan investasi mempertahankan kelayakannya ketika terjadi tekanan ekonomi, dan bukan sebagai representasi data historis, prediksi harga, maupun proyeksi perubahan aktual pada PT ABC.

Selain perubahan harga dan biaya, perubahan rendemen juga diuji karena target produksi sebesar 900 ton/tahun sangat bergantung pada pencapaian rendemen sebesar 30%; hal ini relevan karena

analisis *techno-economic* pada produksi *biochar* menunjukkan bahwa rendemen *biochar* merupakan salah satu parameter teknis yang berpengaruh terhadap kinerja ekonomi dan kelayakan proyek (Sahoo et al. 2021). Dalam penelitian ini, penurunan rendemen sebesar 10% secara relatif dari 30% menjadi 27% menyebabkan volume produksi turun dari 900 ton menjadi 810 ton/tahun, sehingga digunakan untuk menguji dampak penurunan produktivitas proses terhadap kelayakan finansial investasi. Selain analisis skenario tersebut, penelitian ini juga menghitung *switching value*, yaitu tingkat perubahan suatu parameter yang menyebabkan NPV menjadi nol, sehingga dapat menunjukkan batas perubahan parameter sebelum investasi beralih dari kondisi layak menjadi tidak layak; pendekatan ini merupakan metode yang lazim digunakan dalam analisis risiko investasi untuk mengidentifikasi parameter yang paling kritis terhadap kelayakan proyek. Ringkasan hasil analisis sensitivitas disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisis Sensitivitas Investasi *Biochar* PT ABC

Skenario	NPV (Rp)	IRR (%)	Net B/C	PP (Tahun)	BEP (Ton/Tahun)	Kesimpulan
Kondisi Eksisting (*Base Case*)	1.408.529.445	45,70	2,10	1,93	319,31	Layak
Skenario 1: Harga Jual Turun 10%	876.302.983	32,69	1,69	2,44	374,04	Layak
Skenario 2: Biaya Variabel Naik 15%	1.155.854.932	39,45	1,90	2,14	343,15	Layak
Skenario 3: Volume Produksi Turun 10%	1.044.752.658	36,78	1,82	2,25	319,31	Layak
Skenario 4: Harga Jual Turun 10% & Biaya Variabel Naik 15%	623.628.469	26,41	1,49	2,80	407,16	Layak
Skenario 5: Harga Jual Turun 10% & Biaya Variabel Naik 15% & Volume Produksi Turun 10%	338.341.780	19,10	1,26	3,36	407,16	Layak

Berdasarkan Tabel 7, seluruh skenario tunggal maupun kombinasi masih menghasilkan NPV positif, IRR lebih tinggi daripada tingkat diskonto 10%, Net B/C > 1, dan PP lebih pendek daripada periode analisis 5 tahun, sehingga investasi tetap memenuhi kriteria kelayakan finansial. Pada skenario penurunan harga jual 10%, NPV sebesar Rp876.302.983, IRR 32,69%, Net B/C 1,69, dan PP 2,44 tahun, dengan BEP sebesar 374,04 ton/tahun. Skenario kenaikan biaya variabel 15% menghasilkan NPV Rp1.155.854.932, IRR 39,45%, Net B/C 1,90, PP 2,14 tahun, dan BEP 343,15 ton/tahun. Sementara itu, penurunan volume produksi 10% menghasilkan NPV Rp1.044.752.658, IRR 36,78%, Net B/C 1,82, PP 2,25 tahun, dan BEP 319,31 ton/tahun.

Pada skenario kombinasi penurunan harga jual 10% dan kenaikan biaya variabel 15%, NPV menurun menjadi Rp623.628.469, dengan IRR 26,41%, Net B/C 1,49, PP 2,80 tahun, dan BEP 407,16 ton/tahun. Skenario terburuk, yaitu penurunan harga jual 10%, kenaikan biaya variabel 15%, dan penurunan volume produksi 10% secara bersamaan, menghasilkan NPV Rp338.341.780, IRR 19,10%, Net B/C 1,26, PP 3,36 tahun, dan BEP 407,16 ton/tahun. Meskipun terjadi penurunan kinerja pada seluruh indikator dibandingkan kondisi *base case*, hasil tersebut masih menunjukkan NPV positif, IRR di atas tingkat diskonto, Net B/C > 1, serta PP di bawah periode analisis 5 tahun. Dengan

demikian, bahkan pada skenario kombinasi terburuk, investasi biochar TKKS PT ABC masih berada dalam kondisi layak secara finansial.

Untuk membandingkan sensitivitas antarvariabel secara lebih terstandar, digunakan *Sensitivity Index* (SI), yang dihitung sebagai berikut:

SI = |(% perubahan NPV) / (% perubahan parameter)|

Sebagai contoh pada perubahan harga jual 10%:

$$SI = |[(Rp876.302.983 - Rp1.408.529.445) / Rp1.408.529.445] \times 100\%| / 10\%$$

SI = 3,78

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh SI sebesar 1,20 untuk biaya variabel dan 2,58 untuk volume produksi. Dengan demikian, harga jual merupakan parameter yang paling sensitif terhadap perubahan NPV, diikuti oleh volume produksi dan biaya variabel. Hasil ini sejalan dengan Pradnyani et al., (2026) yang menunjukkan bahwa penurunan penerimaan lebih sensitif terhadap kelayakan usaha dibandingkan peningkatan biaya operasional.

Selanjutnya, analisis *switching value* dilakukan untuk menentukan batas perubahan masing-masing parameter ketika NPV mencapai nol. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa harga jual mencapai batas kelayakan pada sekitar Rp1.470.703/ton, atau turun 26,46% dari harga dasar Rp2.000.000/ton. Dengan pendekatan yang sama, diperoleh batas volume produksi sebesar 551,52 ton/tahun atau turun 38,72% dari volume dasar 900 ton/tahun, setara dengan rendemen sekitar 18,38%. Batas kenaikan biaya variabel adalah sekitar 83,62% dari kondisi dasar sebelum NPV mencapai nol. Hasil ini menunjukkan bahwa harga jual merupakan parameter yang relatif paling kritis terhadap kelayakan investasi. Secara keseluruhan, investasi pengolahan *biochar* berbasis TKKS masih layak pada skenario perubahan yang diuji. Namun, kelayakan tersebut berlaku berdasarkan asumsi dan skenario yang digunakan, sehingga perubahan kondisi pasar, volume produksi, maupun biaya di luar rentang analisis perlu tetap diantisipasi.

Strategi Pemasaran *Biochar* Berbasis TKKS

Strategi pemasaran produk *biochar* berbasis TKKS disusun menggunakan pendekatan *Segmenting, Targeting, Positioning* (STP) dan *Marketing Mix 4P* karena mampu memberikan gambaran sistematis mengenai pasar sasaran dan strategi pemasaran yang sesuai dengan karakteristik produk (Tridyanthi, Fadillah, and Annisa 2023). Segmentasi pasar dilakukan berdasarkan aspek geografis dan sektoral. Secara geografis, pemasaran difokuskan pada wilayah Kalimantan Selatan, khususnya Kabupaten Tanah Laut di sekitar operasional perusahaan, yang merupakan sentra perkebunan kelapa sawit dengan kondisi tanah Podsolik Merah Kuning (PMK) yang membutuhkan pembenah tanah. Secara sektoral, pasar dibagi menjadi tiga segmen utama, yaitu perusahaan perkebunan kelapa sawit, petani dan kelompok tani, serta industri dan pelaku agribisnis ramah lingkungan yang berorientasi pada input pertanian berkelanjutan (Rafly et al. 2022).

Berdasarkan segmentasi tersebut, target pasar primer diarahkan pada kebutuhan internal PT ABC, sedangkan target sekunder mencakup petani plasma dan target pengembangan mencakup perusahaan perkebunan lain di Kalimantan Selatan. Dengan kapasitas produksi sebesar 900 ton/tahun, alokasi awal 30%, 30%, dan 40% atau masing-masing sekitar 270, 270, dan 360 ton/tahun digunakan sebagai skenario alokasi strategis pemasaran, bukan sebagai proyeksi permintaan pasar. Alokasi tersebut dimaksudkan untuk menggambarkan tahapan penetrasi pasar, yaitu pemanfaatan sebagian produk untuk kebutuhan internal sebagai pasar awal, pengembangan pasar melalui petani plasma, dan perluasan pasar ke perusahaan perkebunan eksternal. Dengan demikian, komposisi 30–30–40% perlu dipandang sebagai asumsi strategi distribusi kapasitas produksi yang masih memerlukan validasi

melalui data calon pembeli, kebutuhan volume, dan kesediaan membayar.

Produk *biochar* diposisikan sebagai pembenah tanah berbasis biomassa lokal yang memiliki nilai tambah lingkungan dan ekonomi, bukan sebagai pengganti pupuk NPK secara penuh. Positioning tersebut didasarkan pada pemanfaatan TKKS sebagai bahan baku, potensi peningkatan retensi hara dan perbaikan kualitas tanah, serta kedekatan lokasi produksi dengan pasar perkebunan di Kalimantan Selatan. Penggunaan *biochar* sebagai substitusi sebagian input anorganik perlu ditentukan berdasarkan dosis aplikasi dan respons agronomis, sehingga perbandingan ekonomi dengan pupuk NPK tidak dilakukan berdasarkan harga per ton semata karena keduanya memiliki fungsi dan kandungan hara yang berbeda. Evaluasi ekonomi yang lebih tepat dilakukan berdasarkan biaya aplikasi per hektare dan manfaat agronomis yang diperoleh.



Gambar 1. Produk *Biochar* Berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)
Sumber : Dokumen peneliti, hasil observasi lapangan di PT ABC (2026)

Dari aspek *product*, produk yang ditawarkan berupa *biochar* berbasis TKKS yang dikemas dalam karung berlabel dengan informasi mengenai karakteristik, manfaat, dosis, dan cara penggunaan. Penggunaan *biochar* berpotensi mengurangi sebagian kebutuhan pupuk anorganik melalui peningkatan retensi hara tanah, sebagaimana dilaporkan pada penelitian substitusi sebagian pupuk anorganik dengan *biochar* pada budidaya padi (Anggorowati 2024). Untuk meningkatkan kepercayaan pasar dan mengurangi hambatan masuk (*barrier to entry*), pengembangan produk selanjutnya diarahkan pada standardisasi mutu dan pengujian karakteristik dasar *biochar*, meliputi kadar air, kadar abu, karbon, pH, serta kandungan unsur hara utama (N, P, dan K), sebagai dasar evaluasi mutu produk sebelum dipasarkan. Pengujian tersebut merupakan bagian dari rencana pengendalian mutu dan bukan merupakan hasil pengujian aktual yang telah dilakukan dalam penelitian ini.

Dari aspek *price*, harga jual sebesar Rp2.000.000/ton digunakan sebagai harga dasar dalam analisis kelayakan finansial. Berdasarkan biaya operasional tahunan sebesar Rp1.006.200.000 dan kapasitas produksi 900 ton/tahun, biaya operasional rata-rata (*unit cost*) dihitung menggunakan rumus:

$$\text{Biaya operasional per ton} = \frac{Rp1.006.200.000}{900\ ton} = Rp\ 1.118.000/ton$$

Dengan harga jual sebesar Rp2.000.000/ton, margin nominal per ton yang diperoleh adalah:

Margin Nominal = Rp2.000.000 – Rp1.118.000 = Rp882.000/ton

Dari margin nominal tersebut, persentase *markup* terhadap biaya operasional dihitung sebagai berikut:

$$Markup\ (\%) = \frac{Rp882.000/ton}{Rp\ 1.118.000/ton}\ x\ 100\% = 78{,}89\%$$

Perhitungan di atas menunjukkan dasar pembentukan harga menggunakan pendekatan *cost-plus pricing*. Namun, harga Rp2.000.000/ton dalam penelitian ini diperlakukan sebagai asumsi harga dasar yang selanjutnya diuji melalui analisis sensitivitas. Harga tersebut belum dapat dinyatakan sebagai harga pasar yang tervalidasi karena penelitian ini belum melakukan survei *willingness to pay* (WTP) maupun pengumpulan data transaksi aktual dari calon pembeli. Validasi harga selanjutnya perlu dilakukan melalui perbandingan dengan harga *biochar* atau produk pembenah tanah yang memiliki karakteristik dan fungsi yang sebanding**,** bukan dengan harga pupuk NPK secara langsung. Perbandingan dengan NPK hanya dapat dilakukan pada tingkat ekonomi aplikasi, misalnya biaya input per hektare dan manfaat agronomis yang diperoleh, dengan mempertimbangkan dosis aplikasi masing-masing produk. Dengan pendekatan tersebut, *biochar* ditempatkan sebagai pembenah tanah dan/atau komplementer pupuk, bukan sebagai substitusi penuh pupuk NPK.

Dari aspek *place*, distribusi dilakukan melalui saluran langsung ke perkebunan internal dan perusahaan mitra serta saluran tidak langsung melalui koperasi tani dan distributor sarana produksi pertanian. Pemilihan saluran distribusi diarahkan untuk menjaga efisiensi biaya distribusi dan memperluas akses pasar sesuai karakteristik konsumen (Arif and Sismar 2024). Kedekatan lokasi produksi dengan perkebunan kelapa sawit di wilayah Tanah Laut juga berpotensi menekan jarak distribusi sehingga mendukung efisiensi pemasaran.

Dari aspek *promotion*, strategi diarahkan pada edukasi dan demonstrasi penggunaan *biochar* kepada petani plasma, komunikasi langsung dengan manajemen perkebunan, promosi melalui media sosial, serta kerja sama dengan instansi pertanian dan kelompok tani. Promosi tidak hanya diarahkan pada penjualan produk, tetapi juga pada penyediaan bukti manfaat melalui demplot atau uji aplikasi sehingga calon pembeli dapat menilai manfaat produk berdasarkan kondisi tanah dan tanaman yang relevan. Pendekatan edukasi dan pemanfaatan media sosial dapat mendukung peningkatan kemampuan pemasaran produk pertanian (Dienwati et al. 2023).

Integrasi Strategi Pemasaran dengan Kelayakan Finansial

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa risiko pemasaran memiliki hubungan langsung dengan kelayakan finansial investasi. Pada kondisi dasar, produksi 900 ton/tahun dengan harga jual Rp2.000.000/ton menghasilkan NPV sebesar Rp1.408.529.445. Penurunan harga jual 10% menurunkan NPV menjadi Rp876.302.983 atau sebesar 37,79%, dengan *Sensitivity Index* (SI) sebesar 3,78. Nilai tersebut lebih tinggi dibandingkan SI volume produksi sebesar 2,58 dan biaya variabel sebesar 1,20, sehingga harga jual merupakan parameter yang paling sensitif terhadap perubahan NPV. Temuan ini sejalan dengan Cueva et al., (2024) yang menunjukkan bahwa harga jual merupakan parameter penting dalam menentukan kelayakan ekonomi produksi berbasis *biochar*.

Penurunan volume produksi 10% menjadi 810 ton/tahun menghasilkan NPV sebesar Rp1.044.752.658 dengan penurunan NPV sebesar 25,83%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa selain harga, kemampuan pasar menyerap volume produksi juga menjadi faktor penting dalam mempertahankan kelayakan investasi. Oleh karena itu, strategi pemasaran diarahkan pada mempertahankan harga melalui diferensiasi mutu dan pembuktian manfaat produk, sekaligus memastikan penyerapan produk melalui pasar internal, petani plasma, dan pasar eksternal secara bertahap. Pendekatan *techno-economic* pada *biochar* juga menunjukkan bahwa tingkat produksi dan kondisi ekonomi merupakan faktor penting dalam kinerja finansial usaha (Nematian, Keske, and Ng 2021).

Analisis *switching value* menunjukkan bahwa harga jual dapat turun hingga sekitar Rp1.470.703/ton dan volume produksi hingga sekitar 551,52 ton/tahun sebelum NPV mencapai nol. Nilai tersebut menunjukkan batas toleransi ekonomi yang dapat digunakan sebagai acuan dalam

pengendalian harga dan target volume pemasaran. Meskipun demikian, hasil STP dan 4P dalam penelitian ini belum dapat dianggap sebagai bukti permintaan pasar aktual karena belum didukung data *willingness to buy*, kebutuhan volume calon pembeli, harga yang bersedia dibayar, dan *market size*. Literatur mengenai adopsi *biochar* menunjukkan bahwa persepsi nilai ekonomi dan hubungan antara harga dengan manfaat produk merupakan faktor penting dalam penerimaan teknologi *biochar* oleh pengguna (Perrone et al. 2025). Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu melakukan validasi pasar melalui survei calon pembeli dan pemetaan harga *biochar* pembanding.

Dengan demikian, strategi pemasaran *biochar* berbasis TKKS perlu diprioritaskan pada (1) mempertahankan harga jual melalui pembuktian mutu dan manfaat, (2) memastikan penyerapan volume produksi, dan (3) melakukan validasi harga dan permintaan sebelum ekspansi pasar. Prospek pasar yang ditunjukkan dalam penelitian ini dengan demikian merupakan potensi strategis berdasarkan analisis pemasaran dan kelayakan finansial, bukan bukti permintaan pasar aktual.

KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, investasi pengolahan TKKS menjadi *biochar* pada PT ABC layak secara finansial berdasarkan asumsi dan skenario yang digunakan, dengan NPV sebesar Rp1.408.529.445, IRR 45,70%, Net B/C 2,10, *Payback Period* 1,93 tahun, dan BEP 319,31 ton/tahun. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa harga jual merupakan parameter paling sensitif terhadap perubahan NPV dengan *Sensitivity Index* sebesar 3,78, diikuti volume produksi 2,58 dan biaya variabel 1,20. Pada skenario kombinasi terburuk, yaitu penurunan harga jual 10%, kenaikan biaya variabel 15%, dan penurunan volume produksi 10%, investasi masih menghasilkan NPV positif sebesar Rp338.341.780, sehingga tetap memenuhi kriteria kelayakan finansial. *Switching value* menunjukkan batas harga jual sekitar Rp1.470.703/ton dan volume produksi sekitar 551,52 ton/tahun sebelum NPV mencapai nol. Strategi pemasaran dirumuskan melalui pendekatan STP dan *marketing mix* 4P, dengan target pasar internal perusahaan, petani plasma, dan perusahaan perkebunan lain. Produk diposisikan sebagai pembenah tanah berbasis TKKS yang ramah lingkungan dan bernilai tambah, dengan strategi yang menekankan mutu produk, pembuktian manfaat, distribusi bertahap, dan promosi edukatif. Secara keseluruhan, pengembangan investasi perlu memprioritaskan stabilitas harga, kepastian penyerapan volume, pembuktian manfaat produk, pengendalian mutu**,** dan validasi pasar. Prospek pasar yang diidentifikasi merupakan potensi strategis, tetapi belum menjadi bukti permintaan aktual karena penelitian belum mengukur *willingness to buy*, kebutuhan volume calon pembeli, harga yang bersedia dibayar, dan *market size*.

Saran

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan validasi pasar secara langsung melalui survei atau wawancara calon pengguna guna mengetahui *willingness to buy*, harga yang bersedia dibayar, kebutuhan volume, dan potensi pasar *biochar* berbasis TKKS. Selain itu, perlu dilakukan pengujian teknis dan agronomis untuk memperoleh data karakteristik mutu, dosis aplikasi, serta manfaat *biochar* terhadap tanah dan tanaman sebagai dasar penguatan nilai produk dan harga jual. Analisis selanjutnya juga dapat dikembangkan dengan skenario risiko yang lebih komprehensif, terutama terhadap perubahan harga jual, volume produksi, biaya produksi, dan umur proyek, sehingga diperoleh dasar pengambilan keputusan investasi yang lebih kuat.

DAFTAR PUSTAKA

Anggorowati, Dini. 2024. "Pengaruh Biochar Sekam Padi Dan Pupuk NPK Terhadap Pertumbuhan Dan Hasil Tomat (Licopersicum Esculentum Mill) PADA TANAH." *Jurnal Sains Petanian Equator* 319–26.

Arif, Muh, and Andi Sismar. 2024. "Peran Saluran Distribusi Dalam Meningkatkan Volume Penjualan Pada Toko Sinar Aneka Sorong." *Jurnal Ilmiah Bisnis & Kewirausahaan* 13(1):47–55.

Awad, Mahmoud I., Yassir Makkawi, and Noha M. Hassan. 2024. Yield and Energy Modeling for Biochar and Bio-Oil Using Pyrolysis Temperature and Biomass Constituents. *ACS Omega* 9:18654–67. doi:10.1021/acsomega.4c01646.

Bani, Fajar Nasiruddin Al, Harsunu Purwoto, and Listiyani. 2026. Kelayakan Finansial Pembangunan Pabrik Kelapa Sawit Mini Kapasitas 5 Ton / Jam Di Kalimantan Timur. *Jurnal Agrifitia* 6(02):168–79. doi:10.55180/aft.v6i2.2290.

Carolina, Ana, Mara Madaleno, and Luís A. C. Tarelho. 2025. Financial Feasibility of Biochar Production : A Comparative Analysis of Business Scenarios. *Journal of Cleaner Production* 536(November). doi:10.1016/j.jclepro.2025.147167.

Cueva, Lolita, Ibrahim Al-waili, Gregory Griffin, Kalpit Shah, Suresh Bhargava, and Rajarathinam Parthasarathy. 2024. Techno-Economic Assessment (TEA) and Sensitivity Analysis for a Biochar-Based Slurry Fuel Plant. *Energy Conversion and Management* 306(November 2023):118297. doi:10.1016/j.enconman.2024.118297.

Dienwati, Nisa, Nana Suarna, Achmad Fikri Ulumudin, and Achmad Luthfi. 2023. Optimalisasi Media Sosial Sebagai Sarana Promosi Produk Pertanian Desa. *AMMA : Jurnal Pengabdian Masyarakat* 2(4):486–95.

Francis, George Michael, Johanna Suek, I. Wayan Nampa, and Pellokila Marthen Robinson. 2024. Analisi Kelayakan Finansial Industri Minyak Kayu Putih Di Kelurahan Kabola Kecamatan Kabola Kabupaten Alor. *Prosiding Seminar Nasional Pertanian* 3(1).

Gusri, Lailal, Prameswari Amalia Putri, Abdul Manab, and Andre Rabiula. 2025. Potensi Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit Sebagai. *Jurnal Ecocentrism* 5:119–30.

Hu, Mao, Kai Guo, Haiqin Zhou, Wenkun Zhu, Liangwei Deng, and Lichun Dai. 2024. Techno-Economic Assessment of Swine Manure Biochar Production in Large-Scale Piggeries in China. *Energy* 308:133037. doi:https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133037.

Kotler, Philip, and Kevin Lane Keller. 2016. *Manajemen Pemasaran (Edisi Ke-15)*. Pearson Education.

Nematian, Maryam, Catherine Keske, and John N. Ng. 2021. A Techno-Economic Analysis of Biochar Production and the Bioeconomy for Orchard Biomass. *Waste Management* 135(October):467–77. doi:10.1016/j.wasman.2021.09.014.

Nugroho, Fuad Ar, and Riki Ridwan Margana. 2024. "Analisis Kelayakan Investasi Pada Usaha Pertanian Sayur Menggunakan Metode NPV, IRR Dan PP Di Kampung Pojok Desa Jaya Mekar Kecamatan Padalarang Kabupaten Bandung Barat." *Jurnal Ilmu Sosial Dan Pendidikan* 5(4).

Perrone, Mariavittoria, Giordano Ruggeri, Alberto Tosca, and Edoardo Verga. 2025. "Exploring Behavioural Intentions behind Biochar Technology Adoption in Agriculture." *Sustainable Production and Consumption* 61(July):66–81. doi:10.1016/j.spc.2025.10.009.

Pradnyani, Ni Luh Putu Sri Purnama, Putu Aristya Adi Wasita, Rai Gina Artaninggrum, and Made Dwi Wira Ardana. 2026. "Business Feasibility Study Assistance for TMJ Fitness Center Development at BUMDes Tri Manunggal Jaya." *MOVE : Journal of Community Service and Engagement* 6(1):1–14.

Putra, Muhammad Farrasky Delas, and Yozi Putri Sakinah. 2024. "Analisis Sensitivitas Pada Kelayakan Finansial Usahatani Seraiwangi Di Kota Solok (Studi Kasus : Kelompok Tani Kalumpang Saiyo)." *Jurnal Manajemen Kewirausahaan Dan Teknologi* 1(2).

Putra, Pande Ketut Raka, Mulyani Sri, and I. Wayan Gede Sedana Yoga. 2020. "Analisis Nilai Tambah Dan Kelayakan Finansial Pada Usaha Produksi Extract Powder Kunyit." *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri* 8(1):59–68.

Rafly, Novendra Muhammad, Melya Riniarti, Wahyu Hidayat, Hendra Prasetia, Bangun Adi Wijaya, Ainin Niswati, Udin Hasanudin, and Irwan Sukri Banuwa. 2022. "Pengaruh Pemberian Biochar Tandan

Kosong Kelapa Sawit Terhadap Pertumbuhan Sengon (Falcataria Moluccana) Effect of the Application of Biochar from Oil Palm Empty Bunches on the Growth of Falcataria Moluccana." *Journal of Tropical Upland Resources*.

Rahayu, D. E., N. Karnaningroem, A. Altway, and A. Slamet. 2021. "Utilization of Oil Palm Empty Fruit Bunches Biomass through Slow Pyrolysis Process." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 913(1):12018. doi:10.1088/1755-1315/913/1/012018.

Rezki, Amelia Sri, Yeni Ria Wulandari, Livia Rhea Alvita, Pita Sari, Teknologi Rekayasa, Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung, and Bandar Lampung. 2023. "Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan Potensi Limbah Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) Sebagai Bioenergi Pada Produksi Bio-Oil Dengan Metode Pirolisis : Efek Temperatur." *Junal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan* 07(1):22–29.

Sahoo, Kamalakanta, Amit Upadhyay, Troy Runge, Richard Bergman, Maureen Puettmann, E. M. Bilek, and Annisa Primaningtyas. 2021. "Life-Cycle Assessment and Techno-Economic Analysis of Biochar Produced from Forest Residues Using Portable Systems." *The International Journal of Life Cycle Assessment*. doi:10.1007/s11367-020-01830-9.

Silitonga, Josefin William, Bagas Pangaribuan, Firman Hia, and Hamonangan Siallagan. 2026. "Analisis Break Even Point (BEP) Sebagai Alat Perencanaan Laba : Simulasi Pada UMKM Kuliner." *Jurnal Ekonomi, Bisnis Dan Manajemen* 5.

Simanjuntak, Yosefina PG, Agung Suryawan Wiranatha, and Ni Putu Suwariani. 2025. Analisis Nilai Tambah Dan Kelayakan Finansial Kerupuk Kulit Ikan Tuna Sirip Kuning (Thunnus Albacares) UD. Putra Susila. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Agroindustri* 13(1):43–56.

Sindhuwati, Christyfani, Asalil Mustain, Yasinta Octaliya Rosly, Andika Soharmat Aprijaya, Mufid Mufid, Ade Sonya Suryandari, Hardjono Hardjono, and Sri Rulianah. 2021. "Review: Potensi Tandan Kosong Kelapa Sawit Sebagai Bahan Baku Pembuatan Bioetanol Dengan Metode Fed Batch Pada Proses Hidrolisis." *Jurnal Teknik Kimia Dan Lingkungan* 5(2):128–44. doi:10.33795/jtkl.v5i2.224.

Sivaraman, Subramaniyasharma, and Rangabhashiyam Selvasembian. 2026. "Pyrolysis Behavior of Sterculia Guttata Shell Biomass: Kinetics, Thermodynamics, Techno- Economic and Life Cycle Assessment of Industrial- Scale Biochar Production." *RSC Advances* 16:10380–99. doi:10.1039/D5RA09614F.

Tridyanthi, Khori Ayu, Aditya Fadillah, and Adinda Sefina Annisa. 2023. "Strategi Segmenting , Targeting , Positioning Dalam Pemasaran Global." *Jurnal Manajemen* 2(1):151–58. doi:10.55123/mamen.v2i1.1614.

Yuniwati, Eny Dyah. 2025. *Biochar Dan Kesuburan Tanah Pendekatan Inovatif Dalam Agroteknologi*. UNU Pasuruan.

Yusron, Faiq, Mukson, and Siswanto Imam. 2025. "Analisis Kelayakan Finansial Pengembangan Kelapa Kopyor Di Kabupaten Pati." *Jurnal Litbang : Media Informasi Penelitian, Pengembangan Dan IPTEK* 21(2):129–44.