

Peningkatan Nilai Ekonomi Limbah Tempurung Kelapa melalui Produksi *Biocoke Hybrid Blending Biochar dan Bio-oil* sebagai Sumber Energi Ramah Lingkungan

**M Jahiding¹, Mashuni², Erzam S Hasan³, Yuke Milen⁴, Taufiq⁵, Dyan Lestari⁶,
Salza T Wulandari⁷, Nur Laila⁸**

^{1,2,3,5,6,7,8} Universitas Halu Oleo Kendari, Indonesia

⁴ Universitas Hasanuddin Makassar, Indonesia

Received : 27 Juli 2026, Revised : 18 Agustus 2026, Published : 26 Agustus 2026

Corresponding Author

Nama Penulis: M. Jahiding

E-mail: mjahiding@uho.ac.id

Abstrak

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk memperkenalkan dan mengimplementasikan pembuatan biocoke hybrid berbasis biochar dan bio-oil hasil pirolisis tempurung kelapa sebagai upaya menjawab tantangan energi global serta mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Selain berkontribusi pada penyediaan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, kegiatan ini juga diarahkan untuk mengurangi volume limbah padat sekaligus meningkatkan nilai ekonomi limbah sebagai sumber pendapatan tambahan bagi masyarakat. Kabupaten Bombana merupakan salah satu sentra penghasil kelapa di Provinsi Sulawesi Tenggara, dengan mayoritas perkebunan dikelola secara tradisional oleh masyarakat dan produk utamanya dipasarkan dalam bentuk kopra dengan tempurung kelapa umumnya hanya dimanfaatkan sebagai arang bernilai ekonomi rendah. Peningkatan nilai ekonomi limbah dilakukan melalui proses pirolisis tempurung kelapa untuk menghasilkan biochar dan bio-oil. Kedua produk tersebut kemudian dikombinasikan menjadi biocoke hybrid dengan nilai kalor tinggi. Pelibatan masyarakat dilakukan melalui kegiatan pelatihan produksi biocoke hybrid menggunakan teknologi pirolisis, dengan suhu operasi 500 °C menghasilkan rendemen biochar 58,24%, bio-oil 32,95%, tar 2,03%, dan gas 6,78%. Biocoke hybrid yang dihasilkan menunjukkan peningkatan nilai kalor signifikan hingga mencapai 6966,78 kkal/kg pada rasio 9:1. Hasil ini menegaskan potensi besar pemanfaatan limbah biomassa sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan serta aplikatif bagi masyarakat lokal.

Kata kunci - biocoke hybrid, pirolisis, tempurung kelapa

Abstract

This community service activity aims to introduce and implement the production of hybrid biocoke, derived from biochar and bio-oil from coconut shell pyrolysis, as an effort to address global energy challenges and reduce dependence on fossil fuels. In addition to contributing to the provision of environmentally friendly alternative energy sources, this activity aims to reduce the volume of solid waste while increasing the economic value of waste as a source of additional income for the community. Bombana Regency is one of the coconut-producing centers in Southeast Sulawesi Province, with most plantations managed traditionally by the community, and products mainly marketed as copra, while coconut shells are generally used only for low-value charcoal. The economic value of waste increases through coconut shell pyrolysis, producing biochar and bio-oil. The two products are then combined into a hybrid biocoke with high calorific value. Community involvement was carried out through hybrid biocoke production training activities using pyrolysis technology at an operating temperature of 500 °C, yielding

biochar 58.24%, bio-oil 32.95%, tar 2.03%, and gas 6.78%. The resulting hybrid biocoke showed a significant increase in calorific value to 6966.78 kcal/kg at a 9:1 ratio. These results indicate the great potential of using biomass waste as a sustainable, practical, and renewable energy source for local communities.

Keywords - coconut shell, hybrid biocoke, pyrolysis

How To Cite : Jahiding, M., Mashuni, M., S Hasan, E., Milen, Y., Taufiq, T., Lestari, D., T Wulandari, S., & Laila, N. (2026). Peningkatan Nilai Ekonomi Limbah Tempurung Kelapa melalui Produksi Biocoke Hybrid Blending Biochar dan Bio-oil sebagai Sumber Energi Ramah Lingkungan . *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 4(6), 3202 - 3213. <https://doi.org/10.59837/jpmmba.v4i6.4865>

Copyright ©2026 M Jahiding, Mashuni Mashuni, Erzam S Hasan, Yuke Milen, Taufiq Taufiq, Dyan Lestari, Salza T Wulandari, Nur Laila

PENDAHULUAN

Bombana merupakan salah satu kabupaten di Provinsi Sulawesi Tenggara dengan luas wilayah 3.293,97 km² atau sekitar 8,01% dari total luas daratan provinsi. Kabupaten ini memiliki potensi yang besar pada sektor perkebunan dan menjadi salah satu daerah peyangga penghasil berbagai komoditas pertanian. Salah satu komoditas unggulan yang memiliki produksi terbesar adalah kelapa, dengan total produksi mencapai 10.424,00 ton pertahun dengan luas areal tanam sebesar 13.745,60 ha berdasarkan data Badan Pusat Statistik Bombana tahun 2025. Data tersebut menunjukkan bahwa komoditas kelapa memiliki peran strategis dalam struktur ekonomi daerah. Sekitar 31.69% penduduk bekerja sebagai petani, seperti masyarakat di Kecamatan Poleang Barat khususnya Desa Muleno yang sebagian besar penduduknya menggantungkan mata pencaharian pada sektor pertanian, sehingga optimalisasi komoditas kelapa beserta limbah turunannya menjadi langkah yang sangat penting untuk meningkatkan nilai tambah komoditas dan kesejahteraan petani. Di Desa Muleno sistem pertanian yang diterapkan petani masih bersifat tradisional. Meskipun kelapa merupakan komoditas utama, pemanfaatannya di tingkat petani masih berfokus pada daging buah untuk produksi kopra, sedangkan tempurung sebagai produk samping belum dimanfaatkan secara optimal. Tempurung kelapa memiliki proporsi sekitar 12-15% dari bobot buah kelapa, mengacu pada produksi kelapa kabupaten Bombana sebesar 10.424,00 ton pertahun, potensi tempurung yang dihasilkan diperkirakan mencapai 1.250-1.560 ton limbah setiap tahun. Namun, sebagian besar limbah tersebut hanya ditumpuk, dibuang, atau dibakar di lahan terbuka untuk menghasilkan arang dengan mutu dan nilai jual yang relatif rendah.

Permasalahan petani tidak hanya terletak pada rendahnya pemanfaatan limbah, tetapi juga pada lemahnya posisi tempurung kelapa dalam rantai nilai usaha tani. Berdasarkan hasil pemetaan harga pasar di tingkat pengepul pada November 2025, tempurung kelapa hanya bernilai sekitar Rp. 3000/kg, arang tempurung konvensional sekitar Rp. 7000/kg, sedangkan bahan bakar padat bermutu premium seperti Biocoke dapat mencapai Rp. 13.000/kg. Namun nilai tersebut belum sepenuhnya dinikmati oleh petani Desa Muleno, karena volume yang dihasilkan per rumah tangga relatif lebih kecil dan biaya pengangkutan ke pengepul tidak sebanding dengan nilai jualnya, sehingga sebagian besar tempurung kelapa diperlakukan sebagai limbah yang harus dibuang bukan sebagai sumber daya yang memiliki nilai ekonomi. Berdasarkan pemetaan kondisi tersebut, kebutuhan nyata petani dirumuskan menjadi tiga hal: (1) teknologi konversi yang lebih terkendali sehingga rendemen produk yang dihasilkan meningkat; (2) produk akhir dengan mutu terukur agar dapat dipasarkan tidak hanya sebagai arang lokal; (3) keterampilan teknis yang dapat dijalankan mandiri dengan memanfaatkan sumber daya lokal. Ketiga kebutuhan inilah yang menjadi dasar perancangan kegiatan pengabdian ini.

Tempurung kelapa memiliki karakteristik yang memenuhi persyaratan sebagai bahan baku biomassa untuk produksi bahan bakar padat. Tempurung merupakan salah satu biomassa lignoselulosa yang mengandung selulosa 26,60-27,31%, hemiselulosa 27,70% dan lignin 33,30% (Jahiding et al., 2023a; Jahiding et al., 2024). Komposisi tersebut mengindikasikan kandungan karbon yang cukup tinggi, sehingga tempurung berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku alternatif dalam

pembuatan bahan bakar padat yang lebih bernilai seperti *biocoke hybrid*. *Biocoke hybrid* adalah bahan bakar padat yang dihasilkan dari kombinasi dua material yang berbeda tanpa menghilangkan karakteristik masing-masing komponennya, serta memiliki potensi besar sebagai alternatif pengganti kokas batubara yang lebih ramah lingkungan (Jahiding et al., 2023b). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk memproduksi *biocoke hybrid* adalah pirolisis, yaitu dekomposisi termal biomassa tanpa adanya oksigen. Proses ini menghasilkan tiga produk utama yaitu cairan (bio-oil), padatan (biochar) dan gas dengan proporsi dan karakteristik yang dapat ditentukan oleh suhu operasi. Bio-oil dan biochar hasil pirolisis tempurung kelapa inilah yang digunakan sebagai bahan baku untuk produksi bahan bakar padat *biocoke hybrid*. Dibandingkan dengan pembakaran terbuka, pirolisis memiliki keunggulan karena mampu menghasilkan proses konversi biomassa yang lebih terkendali, lebih bersih, dan berpotensi menekan pembentukan emisi CO₂ (Hasan et al., 2017; Jahiding et al., 2023b). Oleh karena itu, penerapan teknologi pirolisis tidak hanya mampu meningkatkan nilai guna limbah tempurung kelapa, tetapi juga didasarkan pada kesesuaiannya dengan kondisi dan kapasitas mitra.

Beberapa kegiatan pengabdian sebelumnya telah memanfaatkan limbah tempurung kelapa untuk produksi arang dan briket dengan perekat tepung kanji (Anggraini et al., 2024; Yanti et al., 2022). Pendekatan yang digunakan sangat sederhana dan mudah diterapkan, tetapi memiliki beberapa keterbatasan seperti, menurunkan ketahanan briket terhadap air, menurunkan nilai kalor produk akhir dan menambah biaya produksi akibat kebutuhan bahan perekat tambahan. Kegiatan pengabdian ini menawarkan kebaruan berupa alih teknologi *liquid solid mixing* antara biochar dan bio-oil hasil pirolisis tempurung kelapa yang sebelumnya baru di uji pada skala laboratorium oleh Jahiding et al (2023-2025) ke skala kelompok tani dan pelaku usaha. Dalam penelitian ini bio-oil berperan ganda sebagai binder sekaligus sebagai sumber kalor, sehingga seluruh produk pirolisis termanfaatkan dalam satu siklus produksi. Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk memperkenalkan dan mengalihkan teknologi pirolisis dan *liquid solid mixing* biochar dan bio-oil kepada kelompok tani dan UD. Bombana Zakkir Group di Desa Muleno, meningkatkan pengetahuan dan keterampilan mitra dalam memproduksi *biocoke hybrid* yang memenuhi SNI 01-6235-2000, serta mendorong terbentuknya unit usaha berbasis biomassa yang dapat dikelola secara mandiri dan berkelanjutan oleh mitra.

METODE

Pelaksanaan kegiatan pengabdian masyarakat ini bertempat di Desa Muleno, Kecamatan Poleang Barat, Kabupaten Bombana, Sulawesi Tenggara. Jarak lokasi dengan perguruan tinggi pengusul adalah ± 202 km. Pemilihan lokasi didasarkan pada potensi melimpahnya limbah tempurung kelapa yang selama ini belum dimanfaatkan secara optimal oleh masyarakat setempat. Kegiatan ini melibatkan partisipasi aktif mitra yaitu UD. Bombana Zakkir Group dan kelompok tani kelapa di Desa Muleno Kecamatan Poleang Barat. Pelaksanaan kegiatan dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

a. Persiapan Bahan Baku



Gambar 1. Preparasi bahan baku (tempurung kelapa)

Bahan baku yang digunakan adalah tempurung kelapa (Gambar 1) yang diperoleh dari hasil pengolahan kopra oleh kelompok tani mitra. Tempurung kelapa dibersihkan dari serat sabut yang masih menempel, kemudian dipotong menjadi ukuran seragam ($\pm 3-5$ cm) menggunakan alat pemotong. Selanjutnya, bahan baku dijemur selama 2-3 hari hingga kadar air mencapai $<15\%$ untuk memastikan proses pirolisis berlangsung optimal.

b. Sosialisasi Teknologi Pembuatan *Biocoke Hybrid*

Kegiatan sosialisasi dilaksanakan dalam bentuk penyuluhan dan demonstrasi teknologi kepada kelompok tani dan mitra UD. Bombana Zakkir Group. Materi sosialisasi meliputi:

1. Pengenalan konsep pirolisis dan produk yang dihasilkan (biochar dan *bio-oil*);
2. Penjelasan potensi peningkatan nilai ekonomi tempurung kelapa melalui teknologi pirolisis;
3. Demonstrasi pengoprasian reaktor pirolisis skala kecil;
4. Penjelasan proses *mixing* biochar dan bio-oil menjadi biocoke hybrid.

Sosialisasi ini bertujuan untuk mengubah pola pikir petani agar tidak hanya menjual tempurung kelapa sebagai arang biasa, tetapi mampu mengolahnya menjadi produk bernilai jual tinggi.

c. Proses Pirolisis Tempurung Kelapa

Proses pirolisis dilakukan menggunakan reaktor semi batch yang dilengkapi dengan reaktor baja tahan karat berdimensi tinggi 45 cm dan diameter 60 cm, dilengkapi dengan pemanas listrik, pengatur suhu digital, dan kondensor yang berfungsi mengembunkan uap hasil pirolisis. Seluruh proses dijalankan dalam kondisi termal tertutup tanpa suplai oksigen (Gambar 2a). Sebanyak 1 kg sampel dimasukkan ke dalam reaktor, suhu reaktor dinaikkan dari suhu ruang $\pm 28^\circ$ hingga mencapai suhu 500°C dengan laju pemanasan $15 \pm 1^\circ\text{C}/\text{menit}$ dan dipertahankan selama 60-90 menit. Produk cair (*bio-oil*) yang dihasilkan dikondensasikan melalui sistem kondensor dan ditampung dalam wadah penampung terpisah (Gambar 2c). Setelah proses selesai, suhu reaktor diturunkan kembali ke suhu ruangan sebelum biochar dikeluarkan dari reaktor.

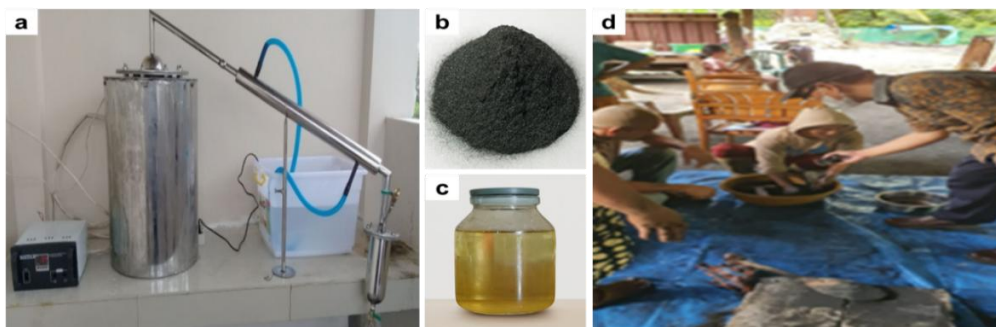
Rendemen biochar dan *bio-oil* dihitung berdasarkan massa bahan baku awal (W_0) dan berat produk padat yang teridentifikasi (W_x), menggunakan Persamaan 1 dan 2:

$$Yield_{(Biochar)} (\%) = \frac{Weight_{(Biochar)}}{W_0} \times 100\% \quad (1)$$

$$Yield_{(Bio-oil)} (\%) = \frac{Weight_{(Bio-oil)}}{W_0} \times 100\% \quad (2)$$

d. Proses *Liquid Solid Mixing*

Biocoke hybrid dibuat melalui proses *mixing* biochar dan *bio-oil* hasil pirolisis menggunakan metode *liquid to solid* hingga diperoleh campuran yang homogen. Proses *mixing* dilakukan dengan tiga variasi rasio perbandingan biochar: *bio-oil* yaitu 9:1; 8:2 dan 7:3 (Gambar 2d). Variasi rasio ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh komposisi *bio-oil* terhadap karakteristik fisikokimia dan kualitas pembakaran *biocoke hybrid* yang dihasilkan



Gambar 2. (a) alat pirolisis, (b) biochar (arang yang sudah dihaluskan), (c) *bio-oil*, (d) proses *blending bio-oil* dan biochar.

e. Kompaksi dan Pencetakan Produk

Campuran biochar dan bio-oil yang telah homogen dicetak menggunakan alat kompaksi manual (Gambar 3a) pada tekanan 20 MPa dengan cetakan silinder berdiameter 3 cm dan tinggi 7 cm. produk hasil cetakan selanjutnya dipanaskan pada suhu 120°C selama 2 jam untuk meningkatkan kerapatan produk. Tekanan kompaksi berpengaruh terhadap ketahanan mekanik produk, sehingga tidak mudah hancur saat penanganan dan penyimpanan (Jahiding et al., 2023).



Gambar 3. (a) proses kompaksi (pencetakan), (b) uji pembakaran, (c) produk *biocoke hybrid*.

f. Evaluasi Kegiatan

Evaluasi kegiatan dilakukan secara berkelanjutan pada setiap tahapan pelaksanaan untuk menilai ketercapaian program, mengidentifikasi kendala yang muncul dan memastikan setiap proses berjalan sesuai dengan tujuan. Evaluasi mencakup dua aspek utama, yaitu evaluasi proses pemberdayaan mitra dan evaluasi mutu produk. Evaluasi proses pemberdayaan dilakukan melalui observasi partisipatif terhadap keterlibatan dan kemampuan mitra pada setiap tahap kegiatan, meliputi preparasi bahan baku, pengoperasian reaktor pirolisis, *liquid solid mixing*, kompaksi, hingga uji pembakaran. Penilaian dilakukan oleh tim pengabdian menggunakan lembar observasi dengan tiga kategori capaian yaitu, belum mampu, mampu dengan pendampingan dan mampu secara mandiri. Hasil evaluasi digunakan untuk mengidentifikasi tahapan yang masih memerlukan pendampingan dan menentukan kebutuhan penguatan keterampilan mitra. Selain observasi, wawancara dilakukan dengan pengelola UD. Bombana Zakkir Group dan perwakilan kelompok tani untuk memperoleh informasi mengenai persepsi mitra terhadap kemudahan penerapan, manfaat teknologi, tingkat penerimaan terhadap produk, serta kesiapan mitra dalam melanjutkan kegiatan produksi secara mandiri.

Evaluasi mutu produk dilakukan melalui uji pembakaran dan karakterisasi fisikokimia *biocoke hybrid*. Uji pembakaran dilakukan di lokasi mitra UD. Bombana Zakkir Group dengan melibatkan kelompok tani kelapa secara langsung untuk mengevaluasi karakteristik penyalan *biocoke hybrid*. Sementara karakterisasi fisikokimia dilakukan di Laboratorium Material dan Lingkungan Universitas Halu Oleo melalui analisis proximate yang meliputi kadar air, kadar abu, *volatile matter*, dan *fixed carbon*, serta pengujian nilai kalor untuk mengevaluasi kualitas dan potensi energi *biocoke hybrid* sebagai bahan bakar alternatif. Seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan persyaratan SNI 01-6235-2000 sebagai acuan mutu bahan bakar padat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Partisipasi Mitra

Partisipasi kelompok tani kelapa dan UD. Bombana Zakkir Group ditunjukkan melalui keterlibatan aktif dalam kegiatan sosialisasi dan pelatihan, baik sebagai masyarakat sasaran maupun sebagai masyarakat mitra (Gambar 4). Keterlibatan ini dimaksudkan untuk mendorong perubahan pola pikir masyarakat tentang pentingnya pengolahan tempurung kelapa menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi tinggi, tidak hanya sekedar dijual sebagai bahan mentah. Seluruh proses

penerapan IPTEKS melibatkan 30 orang peserta yang terdiri atas mahasiswa, kelompok tani dan perwakilan UD. Bombana Zakkir Group, yang berperan aktif disetiap tahapan kegiatan. Hal ini bertujuan agar terjadinya transfer ilmu pengetahuan dan teknologi secara efektif kepada masyarakat mitra, sehingga teknologi yang telah di pelajari dapat diimplementasikan serta dikembangkan secara mandiri oleh kelompok tani dan dapat ditularkan kepada kelompok masyarakat yang lain, sehingga manfaat kegiatan pengabdian ini dapat berkelanjutan dan berdampak lebih luas.



Gambar 4. Sosialisasi teknologi pembuatan biocoke hybrid

Peningkatan Kemampuan Teknis Mitra

Hasil observasi terhadap capaian keterampilan peserta pada setiap tahap disajikan pada Tabel 1. Pada tahap awal, sebagian besar peserta telah memiliki keterampilan dalam melakukan preparasi bahan baku, karena tahap tersebut serupa dengan praktik pengarangan yang biasa mereka dilakukan. Sebaliknya, tahap pengoperasian reaktor pirolisis, mixing dan kompaksi merupakan tahapan baru bagi mitra, sehingga masih memerlukan demonstrasi dan pendampingan intensif. Setelah mengikuti demonstrasi dan praktik terbimbing, peserta mulai mampu mengidentifikasi indikator keberhasilan proses pirolisis melalui perubahan warna biochar dan karakteristik intensitas uap yang dihasilkan pada kondensor, serta mampu menentukan rasio mixing menggunakan timbangan sederhana. Pada tahap akhir, pengelola UD. Bombana Zakkir Group bersama sejumlah anggota petani telah mampu melakukan rangkaian proses produksi dengan pendampingan minimal.

Tabel 1. Capaian keterampilan mitra pada setiap tahapan produksi biocoke hybrid

Tahap Produksi	Kondisi awal	Capaian	Keterangan
Preparasi bahan baku	Sudah dikuasai	100 %	Tahapan serupa dengan praktik pengarangan
Pengoperasian reaktor pirolisis	Belum dikuasai	100 %	Teknologi baru bagi mitra, memerlukan penguasaan parameter dan indikator proses
Liquid solid mixing	Belum dikuasai	85%	Memerlukan ketelitian dalam menentukan rasio pencampuran
Kompaksi	Belum dikuasai	90%	Masih memerlukan pendampingan dalam pengoperasian alat kompaksi

Pola capaian pada Tabel 1 menunjukkan bahwa tahap yang menuntut ketelitian pengukuran dan ketersediaan alat membutuhkan pendampingan lebih lama dibandingkan tahap yang bersifat manual dan sudah familiar bagi peserta. Pengoperasian reaktor pirolisis dapat dikuasai lebih cepat melalui demonstrasi langsung, sedangkan *liquid-solid mixing* dan kompaksi masih memerlukan pendampingan untuk memastikan ketepatan rasio pencampuran dan konsistensi kualitas produk. Peningkatan keterampilan masyarakat berlangsung lebih efektif melalui pendekatan *learning by doing* dengan praktik langsung dan pendampingan bertahap dibandingkan penyuluhan. Oleh karena itu, penguatan kompetensi pada tahap *liquid solid mixing* dan kompaksi menjadi fokus utama dalam program pendampingan lanjutan guna mendukung kemandirian produksi biocoke hybrid oleh mitra.

Rendemen Produk Pirolisis Tempurung Kelapa

Rendemen produk pirolisis merupakan indikator awal keberhasilan alih teknologi yang menentukan jumlah bahan baku biocoke hybrid yang dapat diperoleh mitra dari setiap siklus produksi. Hasil pirolisis 1 kg tempurung kelapa pada suhu 500 °C dengan laju pemanasan $15 \pm 1^\circ\text{C}/\text{menit}$ disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rendemen produk pirolisis 1 kg tempurung kelapa pada suhu 500 °C

Produk pirolisis	Rendemen (wt%)	Massa (g)
Biochar	58,24	582,40
Bio-oil	32,95	329,50
Tar	2,03	20,30
Gas	6,78	67,80
Total	100,00	1.000,00

Tabel 2 menunjukkan produk pirolisis didominasi oleh fraksi padatan (biochar) sebesar 58,24%, bio-oil 32,95%, tar 2,03% dan gas 6,78%. Hasil rendemen ini mendekati penelitian Novita (2023) yaitu biochar 47,5-72% dan bio-oil 25,33-34,5% pada rentang suhu 300-650°C. Tingginya kandungan biochar pada proses pirolisis tempurung kelapa dipengaruhi oleh kondisi pemrosesan dan dekomposisi kandungan lignin tempurung kelapa yang berkontribusi terhadap residu padatan (Sarkar and Wang, 2020).

Pengujian Kualitas Biocoke hybrid

Pengujian kualitas *biocoke hybrid* dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh rasio biochar dan *bio-oil* terhadap kualitas bahan bakar padat yang dihasilkan berdasarkan parameter yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 01-6235- 2000). Pengujian terdiri dari karakterisasi fisikokimia dan uji pembakaran biocoke hybrid. Hasil pengujian pada berbagai rasio *blending* biochar dan *bio-oil* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Fisikokimia dan Uji Pembakaran

Parameter	Tanpa <i>bio-oil</i>	Rasio biochar: <i>bio-oil</i>			Standar SNI 01-6235-200
		9:1	8:2	7:3	
Kadar air (%)	6,17	4,84	5,08	5,31	≤ 8
Kadar abu (%)	6,79	4,41	4,87	5,56	≤ 8
Volatile matter (%)	21,19	12,24	20,09	23,32	≤ 15
Fixed carbon (%)	65,80	78,49	69,95	65,85	≥ 77
Nilai kalor (kkal/kg)	5634,73	6966,78	6908,56	6894,56	≥ 5000
Waktu penyalaan (menit)	11	8	7	5	-

Hasil pengujian pada Tabel 2, menunjukkan bahwa teknologi pembuatan *biocoke hybrid* yang diterapkan kepada mitra menghasilkan bahan bakar padat dengan karakteristik fisikokimia yang memenuhi persyaratan SNI 01-6325-2000. Perbaikan tersebut terlihat pada beberapa parameter proximate seperti kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon* dan nilai kalor. Penelitian oleh Jahiding et al. (2023a) dan Milen et al. (2025) dalam produksi *biocoke hybrid* melaporkan bahwa *mixing* biochar dan *bio-oil* dapat meningkatkan kualitas fisikokimia bahan bakar padat melalui peningkatan kandungan energi, perbaikan struktur biocoke dan peningkatan performa pembakaran.

Berdasarkan analisis proximate, kadar air dan abu seluruh variasi rasio memenuhi batas maksimum SNI 01-6325-2000 yaitu ≤ 8 . Kedua parameter ini sangat berpengaruh terhadap efisiensi pembakaran, karena energi yang dihasilkan tidak banyak digunakan untuk menguapkan air dan menekan pembentukan residu anorganik (Wulandari et al., 2024; Mashuni et al., 2020). Penambahan *bio-oil* menurunkan kadar air dari 6,17% menjadi 4,84-5,31% dan kadar abu dari 6,79% menjadi 4,41-5,56% dengan nilai terendah pada rasio 9:1. Sementara kandungan *volatile matter* menunjukkan zat yang mudah menguap dari dekomposisi senyawa yang terdapat dalam biocoke hybrid (Wang et al., 2025; Yustanti et al., 2021; Milen et al., 2025). Dari seluruh variasi rasio hanya rasio 9:1 yang memenuhi batas maksimum SNI 01-6325-2000 yaitu $\leq 15\%$ dengan nilai 12,24%. *Volatile matter* yang lebih rendah sangat berpengaruh terhadap kestabilan dan mutu bahan bakar, walaupun menjadi sedikit lebih sulit dinyalakan pada tahap awal (Otieno et al., 2022; Ayaa et al., 2025). Perubahan *volatile matter* tersebut berbanding terbalik dengan nilai *fixed carbon* yang mengalami peningkatan. Namun hanya rasio 9:1 yang memenuhi batas maksimum acuan SNI 01-6325-2000 yaitu ≥ 77 , sehingga rasio ini menjadi formulasi terbaik pada parameter proximate karena *fixed carbon* yang tinggi menunjukkan proporsi energi lebih besar yang berperan sebagai sumber kalor dan waktu pembakaran yang lebih lama dan menghasilkan panas yang lebih stabil (Bazaluk et al., 2022; Wang et al., 2025).

Parameter proximate tersebut sangat berpengaruh terhadap nilai kalor biocoke hybrid. Seluruh rasio memenuhi batas maximum SNI 01-6325-2000 yaitu ≥ 5000 , dan mengalami peningkatan setelah penambahan *bio-oil* dari 5.634,73-6.966,78 kkal/kg. Peningkatan ini menunjukkan bahwa *bio-oil* tidak hanya berfungsi sebagai binder tetapi berkontribusi terhadap peningkatan energi, karena *bio-oil* mengandung berbagai senyawa hidrokarbon yang memiliki nilai kalor relatif tinggi (Jahiding et al., 2023a; Milen et al., 2025). Berdasarkan hasil keseluruhan parameter yang dianalisis formulasi biochar dan *bio-oil* pada rasio 9:1 merupakan komposisi yang paling optimum, menghasilkan kombinasi kadar air dan abu yang rendah, *volatile matter* yang memenuhi standar serta *fixed carbon* dan nilai kalor yang tinggi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *mixing* biochar dan *bio-oil* hasil pirolisis yang diterapkan dalam kegiatan pengabdian berhasil meningkatkan kualitas *biocoke hybrid* sehingga layak direkomendasikan sebagai teknologi sederhana yang dapat diadopsi oleh masyarakat untuk menghasilkan bahan bakar padat dengan mutu sesuai SNI 01-6325-2000.

Potensi Ekonomi dan Keberlanjutan Usaha

Keberhasilan program memiliki implikasi terhadap posisi tempurung kelapa dalam rantai nilai di tingkat petani dan mitra. Berdasarkan harga acuan yang berlaku, tempurung kelapa memiliki nilai jual sekitar Rp. 3000/kg, arang tempurung konvensional sekitar Rp. 7000/kg. Setelah diolah melalui teknologi pirolisis, biocoke hybrid dengan rasio 9:1 memiliki nilai kalor sebesar 6966,78 kkal/kg dan harga acuan bahan bakar padat bermutu premium seperti biocoke sekitar Rp 13.000/kg. Perbandingan harga tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan nilai ekonomi dan nilai kalor produk

Produk	Harga Acuan (Rp/kg)	Nilai Kalor (kkal/kg)	Rasio Harga terhadap Arang
Tempurung kelapa	3.000	4471,80	0,43
Arang konvensional	7.000	5634,73	1,00*
Biocoke hybrid (rasio 9:1)	13.000	6966,78	1,86

*Acuan

Tabel 3 menunjukkan bahwa alih teknologi mampu meningkatkan nilai ekonomi tempurung kelapa melalui peningkatan tingkat pengolahan dan mutu energi produk (Sarker et al., 2023). Harga biocoke mencapai Rp. 13.000/kg atau sekitar 1,86 kali harga arang konvensional dan 4,33 kali harga tempurung kelapa tanpa pengolahan. Peningkatan nilai tersebut disertai dengan kenaikan nilai kalor dari 5634,73 kkal/kg pada arang konvensional menjadi 6966,78 kkal/kg pada biocoke hybrid, sehingga peningkatan nilai ekonomi tidak hanya didasarkan pada harga jual, tetapi didukung oleh peningkatan kualitas energi produk karena pada tahap komersial tidak hanya mempertimbangkan harga tetapi juga nilai kalor, kadar air, kadar abu, fixed carbon dan volatile matter yang memenuhi mutu SNI 01-6325-2000, serta kemudahan penanganan dan penyimpanan (Alamgir et al., 2023; Anis et al., 2024). Sejalan dengan hal tersebut, penelitian Syarif et al., (2024) dalam produksi briket tempurung kelapa menempatkan kenaikan margin terjadi pada tahap pengolahan lanjutan, bukan pada penjualan bahan mentah, sehingga kelayakan ekonomi ditentukan oleh mutu produk akhir. Perhitungan tersebut dinyatakan persatuan bahan baku, dengan rendemen biocoke hybrid sebesar 64,71% setiap 1 kg tempurung kelapa dapat menghasilkan sekitar 0,647 kg biocoke hybrid dengan nilai bruto sekitar Rp 8.412 berdasarkan harga acuan Rp 13.000/kg atau sekitar 2,8 kali nilai tempurung kelapa dan sekitar 2,1 kali nilai arang konvensional. Peningkatan ini menjadi dasar rantai ekonomi yang disampaikan kepada mitra sebagai bahan pertimbangan keberlanjutan program.

Keberlanjutan program juga dievaluasi berdasarkan penilaian yang dilakukan melalui observasi partisipatif dan wawancara dengan pengelola UD. Bombana Zakkir Group serta perwakilan kelompok tani, dengan hasil penilaian dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 5. Evaluasi keberlanjutan usaha produksi biocoke hybrid di Desa Muleno

Aspek	Capaian setelah kegiatan	Tantangan	Rencana tindak lanjut
Teknologi dan SDM	Mitra mandiri pada preparasi bahan baku dan pengoperasian reaktor pirolisis	Konsistensi rasio pencampuran dan mutu produk antar siklus produksi	Pendampingan lanjutan dan penyusunan prosedur operasional produksi
Bahan baku	Tempurung kelapa tersedia sepanjang tahun sebagai produk samping pengolahan kopra	Lokasi sumber bahan baku tersebar	Pengembangan sistem pengumpulan dan pengadaan bahan baku secara kolektif melalui UD. Bombana Zakkir Group
Kelembagaan	Kelompok tani dan mitra usaha berperan aktif dalam seluruh tahapan produksi	Kelembagaan usaha dan sistem administrasi bisnis belum terbentuk secara formal	Fasilitas perizinan usaha dan pembukuan sederhana

Mutu dan Pemasaran	Memenuhi seluruh parameter SNI 01-6235-2000	Belum tersedia kemasan produk, pengujian mutu berkala dan jaringan pembeli	Pengembangan kemasan, mencari calon pembeli potensial termasuk sektor industri
--------------------	---	--	--

Secara keseluruhan, evaluasi pada Tabel 5 memperlihatkan bahwa program telah mencapai keberlanjutan pada tingkat teknis dan pasokan bahan baku. Namun keberlanjutan kelembagaan dan pemasaran masih berada pada tahap awal. Berdasarkan kondisi tersebut, rencana tindak lanjut diarahkan pada tiga prioritas, yaitu pendampingan teknis lanjutan disertai penyusunan prosedur operasional produksi untuk menjaga konsistensi mutu produk; pembentukan sistem pengumpulan bahan baku kolektif serta fasilitas perizinan usaha dan pembukuan sederhana; dan pengembangan kemasan, pengujian mutu berkala serta mencari market yang berpotensi untuk pemasaran termasuk sektor industri. Ketiga prioritas ini menjadi dasar bagi tahap pengabdian berikutnya agar unit usaha biocoke hybrid di Desa Muleno dapat berjalan secara mandiri dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan teknologi pirolisis dalam produksi *biocoke hybrid* berbasis biochar dan *bio-oil* limbah tempurung sebagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan bernilai ekonomi tinggi. Pirolisis tempurung kelapa pada suhu 500 menghasilkan rendemen biochar 58,24%, bio-oil 32,95%, tar 2,03% dan gas 6,78%, sehingga dengan formulasi 9:1 setiap 1 kg tempurung kelapa dapat dikonversi menjadi 0,647% kg biocoke hybrid. Hasil analisis fisikokimia menunjukkan bahwa mixing biochar dan bio-oil mampu meningkatkan kualitas biocoke hybrid. Berdasarkan evaluasi seluruh parameter mutu, formulasi 9:1 merupakan komposisi optimum menghasilkan nilai kalor tertinggi 6966,78 kkal/kg, kadar karbon tetap 78,49% serta kadar air dan abu yang lebih rendah memenuhi persyaratan mutu SNI 01-6235-2000. Keberhasilan penerapan teknologi ini menunjukkan bahwa tempurung kelapa memiliki potensi yang besar untuk dikembangkan menjadi produk bernilai tambah melalui proses pirolisis dan *mixing*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Halu Oleo atas bantuan pendanaan melalui Program Kemitraan Masyarakat Internal (PKMI) tahun anggaran 2025 dengan kontrak nomor 305/UN29.23/AM/2025 tanggal 2 Oktober 2025, serta seluruh pihak yang telah berpartisipasi dalam kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamgir Ahmad, K., Ahmad, E., Al Mesfer, M. K., & Nigam, K. D. P. (2023). Bio-coal and bio-coke production from agro residues. *Chemical Engineering Journal*, 473, 145340. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.145340>
- Anggraini, Y., Ariyanti, A. S., Putra, R. P., & Zakiyah, F. (2024). Pelatihan pembuatan arang briket dengan pemanfaatan limbah batok kelapa di Desa Pangpong. *Jurnal Solutif: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(1), 32–37. <https://doi.org/10.61692/solutif.v2i1.133>
- Anis, S., Fitriyana, D. F., Bahatmaka, A., Anwar, M. C., Ramadhan, A. Z., Anam, F. C., Permana, R. A., Hakim, A. J., Guterres, N. F. D. S., & Da Silva, M. D. S. (2024). Effect of adhesive type on the quality of coconut shell charcoal briquettes prepared by the screw extruder machine. *Journal of Renewable Materials*, 12(2), 381–396. <https://doi.org/10.32604/jrm.2023.047128>
- Ayaa, F., Oyedotun, K., Lubwama, M., Iwarere, S. A., Daramola, M. O., & Kirabira, J. B. (2025).

- Production and characterization of densified briquettes from nanocomposite biochar-cellulose nanocrystal (Biochar-CNC) reinforced with polyvinyl alcohol (PVA). *Waste and Biomass Valorization*, 16, 2075–2095. <https://doi.org/10.1007/s12649-025-03005-9>
- Bazaluk, O., Kieush, L., Koveria, A., Schenk, J., Pfeiffer, A., Zheng, H., & Lozynskyi, V. (2022). Metallurgical Coke Production with Biomass Additives: Study of Biocoke Properties for Blast Furnace and Submerged Arc Furnace Purposes. *Materials*, 15(3). <https://doi.org/10.3390/ma15031147>
- Hasan, E. S., Jahiding, M., Mashuni, Ilmawati, W. O. S., Wati, W., & Sudiana, I. N. (2017). Proximate and the Calorific Value Analysis of Brown Coal for High-Calorie Hybrid Briquette Application. *Journal of Physics: Conference Series*, 846(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/846/1/012022>
- J. K. Sarkar and Q. Wang. (2020). Different pyrolysis process conditions of south asian waste coconut shell and characterization of gas, bio-char, and bio-oil. *Energies*, 13. <https://doi.org/10.3390/en13081970>
- Jahiding, M, Mashuni, M., Hasan, E. S., Aba, L., Purnamasari, F. S., & Milen, Y. (2023). Decomposition and characterization of bio-oil from coconut shell waste for bio-coke hybrid application as alternative energy resources. *Journal of Physics: Conference Series*, 2498(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2498/1/012036>
- Jahiding, Muh., Hasan, E. S., Milen, Y., Mashuni, & Purnamasari, F. S. (2024). The effect of pyrolysis temperature on bio-oil and bio-char decomposition process of coconut shell for bio-coke hybrid application as alternative energy resources. *AIP Conference Proceedings*, 2973(1), 20012. <https://doi.org/10.1063/5.0184524>
- Jahiding, Muhammad, Hasan, E. S., Mashuni, M., Milen, Y., & Ayuningsih, F. (2023). Kinerja Coke Hybrid Berbasis Tandan Kosong Kelapa Sawit Dan Limbah Plastik Polypropylene Yang Diproduksi Dengan Metode Co Pirolisis. *Indonesian Journal of Energy and Mineral*, 3(1), 1–6. <https://doi.org/10.53026/ijoem/2023/3.1/1039>
- Mashuni, Yanti, N. A., Jahiding, M., Kadidae, L. O., Djaila, R., & Hamid, F. H. (2020). Analysis of liquid volatile matters from coconut shell pyrolysis by GC-MS and its potential as antifungal agent. *Asian Journal of Chemistry*, 32(7), 1728–1732. <https://doi.org/10.14233/ajchem.2020.21657>
- Milen, Y., Samawi, M. F., Demmalino, E. B., & Jahiding, M. (2025). Calorific value performance of sago dregs biomass products for coal co-firing material. 26(11), 189–203. <https://doi.org/10.12912/27197050/211942>
- Novita, S. A., Santosa, Nofialdi, Andasuryani, & Fudholi, A. (2023). Efficient bio-oil production from coconut shells using parabolic solar pyrolysis. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 18(12), 3745–3755. <https://doi.org/10.18280/ijstdp.181206>
- Otieno, A. O., Home, P. G., Raude, J. M., Murunga, S. I., & Gachanja, A. (2022). Heliyon Heating and emission characteristics from combustion of charcoal and co-combustion of charcoal with faecal char-sawdust char briquettes in a ceramic cook stove. *Heliyon*, 8(May), e10272. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10272>
- Qanitah, Hidayatullah, F. S., & Susmiati, Y. (2024). Analisis tekno ekonomi produksi briket tempurung kelapa. *Elektriese: Jurnal Sains dan Teknologi Elektro*, 14(1), 60–68. <https://doi.org/10.47709/elektriese.v14i01.4402>
- Sarker, T. R., Borugadda, V. B., Meda, V., & Dalai, A. K. (2023). Optimization of pelletization process conditions and binder concentration for production of fuel pellets from oat hull and quality evaluation. *Biomass and Bioenergy*, 174, 106825. <https://doi.org/10.1016/j.BIOMBIOE.2023.106825>
- Wang, H., Huo, Z., & Jin, Q. (2025). Sustainable production of high-quality biocoke by bio-oil and 2, 5-furandimethanol from biomass residues depolymerization: A novel solution toward carbon neutrality in steel industry. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 192, 107303. <https://doi.org/10.1016/J.JAAP.2025.107303>

- Wulandari, A. P., Rossiana, N., Zahdi, F. R. M., Nuraulia, R., Nur'anifah, R., Kartika, C. I., Rahmah, L. A., Kusmoro, J., Madihah, & Yusnaidar. (2024). Formulation and characterization of bio-briquettes and bio-pellets from ramie (*Boehmeria nivea*) biomass as renewable fuel. *Sustainability*, 16(24), 10930. <https://doi.org/10.3390/su162410930>
- Yanti, R. N., Ratnaningsih, A. T., & Ikhsani, H. (2022). Pembuatan bio-briket dari produk pirolisis biochar cangkang kelapa sawit sebagai sumber energi alternatif. *Jurnal Ilmiah Pertanian*, 19(1), 11–18. <https://doi.org/10.31849/jip.v19i1.7815>
- Yustanti, E., Wardhono, E. Y., Mursito, A. T., & Alhamidi, A. (2021). Types and composition of biomass in biocoke synthesis with the coal blending method. *Energies*, 14(20), 1–18. <https://doi.org/10.3390/en14206570>