

Pemanfaatan Limbah Biomassa Untuk Produksi Biochar dan Asap Cair Di KPH Bulungan, Kalimantan Utara

Anne Hadiyane¹, Alfi Rumidatul^{2*}, Atmawi Darwis³, Noviana Budianti⁴, Sopandi Sunarya⁵, Rini Mastuti⁶

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Pasca Panen, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati/Institut Teknologi Bandung

^{4,5}Program Studi Rekayasa Kehutanan, Sekolah Ilmu dan Teknologi Hayati/Institut Teknologi Bandung

⁶Program Studi Akuakultur, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan/Universitas Borneo Tarakan

Email: alfirumidatul@itb.ac.id^{2*}

Abstrak

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan di Kawasan Pemangkuhan Hutan (KPH) Bulungan, Kalimantan Utara, dengan melibatkan 25 anggota Kelompok Tani Hutan (KTH). Kegiatan berfokus pada pemanfaatan limbah biomassa yang selama ini ditangani dengan dibakar secara terbuka (*open burning*). Tujuannya adalah memberdayakan KTH melalui transfer teknologi pirolisis skala kecil untuk mengonversi limbah menjadi produk bernilai ekonomi, yaitu biochar dan asap cair. Metode yang digunakan adalah *Participatory Action Research (PAR)*, yang meliputi tiga tahap: (1) observasi dan pelatihan teoritis-praktis, (2) pendampingan berkelanjutan, serta (3) evaluasi dan perencanaan keberlanjutan. Analisis data dilakukan secara kuantitatif (*perbandingan nilai pre-test dan post-test, perhitungan rendemen produk, analisis kelayakan finansial*) dan kualitatif (*diskusi kelompok, observasi partisipan*). Hasilnya menunjukkan peningkatan kapasitas masyarakat yang sangat signifikan (*nilai post-test meningkat 43,9 poin*), produksi biochar (*rendemen 25-35%*) dan asap cair (*rendemen 35-40%*), serta terciptanya potensi usaha baru dengan keuntungan kotor Rp 400.000 per batch produksi. Keberlanjutan program dijamin melalui nota kesepahaman (*MoU*) dan rencana aksi KTH. Kegiatan ini sukses mentransformasi limbah menjadi sumber daya ekonomi sekaligus mendukung kelestarian lingkungan.

Keywords: Asap cair, Biochar, KPH Bulungan, Limbah biomassa, Pemberdayaan masyarakat

PENDAHULUAN

Kawasan Pemangkuhan Hutan (KPH) Bulungan di Kalimantan Utara merupakan wilayah dengan kekayaan sumber daya hutan yang melimpah. Aktivitas pengelolaan hutan, pertanian, dan perkebunan masyarakat di sekitar kawasan tersebut menghasilkan limbah biomassa dalam volume yang sangat besar. Limbah ini berasal dari sisa tebang kayu, ranting, cabang, daun, limbah kelapa sawit, sekam padi, dan berbagai sisa tanaman lainnya. Selama ini, penanganan limbah biomassa ini belum optimal dan cenderung ditangani dengan cara yang tidak berkelanjutan, seperti dibakar secara langsung (*open burning*) atau dibiarkan menumpuk dan membusuk. Praktik pembakaran terbuka tersebut menimbulkan berbagai permasalahan multidimensi. Di sisi lingkungan, pembakaran melepaskan emisi gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 , dan N_2O) serta partikel polutan ($\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10}) yang mencemari udara dan berkontribusi terhadap pemanasan global (Krecl et al., 2021). Asap dari pembakaran juga dapat mengganggu kesehatan masyarakat sekitar, menyebabkan infeksi saluran pernapasan akut (ISPA) dan iritasi mata. Di sisi ekonomi, pembakaran merupakan pemborosan sumber daya yang sebenarnya memiliki potensi nilai tambah ekonomi yang tinggi jika diolah dengan tepat.

Oleh karena itu, diperlukan sebuah solusi inovatif yang dapat mengubah limbah biomassa dari beban menjadi sumber daya yang bernilai ekonomi sekaligus ramah lingkungan. Salah satu teknologi yang paling prospektif adalah pirolisis. Pirolisis adalah proses dekomposisi termokimia biomassa pada suhu tinggi (300-600°C) dengan kondisi tanpa oksigen atau oksigen terbatas. Keunggulan utama teknologi ini adalah kemampuannya mengonversi limbah biomassa menjadi produk yang memiliki nilai jual tinggi, yaitu biochar (arang hayati) dan asap cair (Harlianingtyas et al., 2023).

Biochar merupakan material karbon padat yang memiliki manfaat sangat luas. Aplikasi biochar ke dalam tanah (*soil amendment*) terbukti dapat meningkatkan kesuburan tanah dengan menaikkan pH, meningkatkan kemampuan tanah menahan air dan unsur hara, serta menjadi habitat bagi mikroba menguntungkan (Evizal dan Prasmatiwi, 2023). Dalam konteks perubahan iklim, biochar berperan dalam penyimpanan karbon (*carbon sequestration*) jangka panjang, menjadikannya salah satu solusi berbasis alam (*nature-based solution*) untuk mitigasi iklim (Murphy, 2025). Nilai ekonominya pun terus meningkat seiring dengan tren pertanian organik dan berkelanjutan. Sementara itu, asap cair merupakan hasil kondensasi uap dari proses pirolisis yang memiliki nilai komersial sebagai pengawet makanan alami (alternatif pengganti formalin), pestisida nabati, penghambat tumbuhnya jamur pada tanaman, dan sumber flavor dalam industri pangan (Hadiyane et al., 2024).

Berdasarkan survei awal di KPH Bulungan, potensi limbah biomassa sangat melimpah, namun pengetahuan dan keterampilan masyarakat dalam mengolahnya masih sangat terbatas. Kelompok Tani Hutan (KTH) dan masyarakat sekitar umumnya hanya mengenal pemanfaatan biomassa sebagai kayu bakar. Pengenalan teknologi pirolisis skala kecil-menengah yang sederhana, mudah dioperasikan, dan berbiaya terjangkau akan menjadi sebuah terobosan. Teknologi ini tidak hanya menyelesaikan masalah limbah dan lingkungan, tetapi juga menciptakan peluang usaha dan sumber pendapatan baru bagi masyarakat melalui penjualan biochar dan asap cair.

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dirancang untuk menjawab permasalahan tersebut melalui pendekatan pemberdayaan masyarakat berbasis sains dan teknologi. Melalui serangkaian kegiatan yang meliputi pelatihan, pendampingan teknis, dan pembuatan demplot unit pengolahan, diharapkan masyarakat KPH Bulungan dapat mandiri dalam mengelola limbah biomassa menjadi produk yang bernilai ekonomi. Pada akhirnya, kegiatan ini tidak hanya bertujuan untuk transfer teknologi, tetapi juga untuk mendukung terwujudnya pengelolaan hutan yang lestari, peningkatan ekonomi masyarakat, dan kontribusi terhadap aksi mitigasi perubahan iklim.

METODE KEGIATAN

Kegiatan pengabdian kepada Masyarakat dilaksanakan di Desa Long Sam, KPH Bulungan, Kalimantan Utara selama empat bulan (Juni sampai September 2025). Kegiatannya dilaksanakan menggunakan pendekatan *participatory rural appraisal* (PRA) yang

menekankan pada kolaborasi dan siklus perencanaan-aksi-refleksi secara partisipatif bersama mitra, yaitu Kelompok Tani Hutan (KTH) di KPH Bulungan. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa program tidak hanya bersifat *top-down*, tetapi dibangun berdasarkan kebutuhan dan keterlibatan aktif masyarakat, sehingga menjamin keberlanjutan pasca-kegiatan berakhir (Rumidatul et al., 2025). Pelaksanaannya terbagi dalam tiga tahap utama yang saling berkaitan.

1. Tahap Persiapan

Tahap persiapan diawali dengan observasi lapangan dan dialog intensif dengan pengelola KPH dan perwakilan KTH. Pada tahap ini, tim melakukan pemetaan sosial (*social mapping*) untuk mengidentifikasi semua pemangku kepentingan, jenis dan ketersediaan limbah biomassa, serta tingkat pemahaman masyarakat tentang potensi nilai ekonominya (Gunawan dan Sutrisno, 2021). Data yang dikumpulkan kemudian dianalisis untuk menyusun modul pelatihan yang kontekstual dan mudah dipahami, dilengkapi dengan poster infografis dan video tutorial singkat yang disesuaikan dengan bahasa dan budaya lokal. Perancangan alat peraga dan prototipe reaktor pirolisis skala drum juga dilakukan pada tahap ini, dengan memprioritaskan penggunaan bahan baku lokal yang mudah diperoleh untuk memudahkan replikasi oleh masyarakat.

2. Tahap Pelaksanaan Program

Tahap pelaksanaan program terdiri dari tiga komponen utama. Komponen pertama adalah sosialisasi dan pemberian materi. Materi yang disampaikan meliputi potensi limbah biomassa dan dampak negatif pembakaran terbuka, prinsip dasar teknologi pirolisis sederhana, serta peluang pasar dan model bisnis sederhana untuk produk biochar dan asap cair (Sutiawan & Kusumah, 2023). Metode yang digunakan adalah ceramah interaktif, diskusi kelompok, dan studi kasus dari daerah lain untuk membangun persepsi dan motivasi yang positif.

Komponen kedua adalah pelatihan praktik dan pembuatan demplot. Pada sesi ini, peserta secara langsung melakukan perakitan unit pirolisis skala drum 200 L, mempraktikkan proses produksi biochar dan penampungan asap cair dari berbagai jenis biomassa yang tersedia (seperti kayu dan tempurung kelapa) (Pujiastuti et al., 2021). Praktik aplikasi biochar pada demplot lahan pertanian anggota KTH juga dilakukan untuk menunjukkan manfaat nyata sebagai pembenah tanah serta aplikasi asap cair dalam mempercepat waktu perkecambahan biji. Komponen ketiga adalah pendampingan berkelanjutan yang dilakukan secara berkala. Melalui grup WhatsApp, tim memantau perkembangan, menjawab pertanyaan, dan memecahkan masalah teknis yang dihadapi mitra. Pendampingan juga difokuskan pada pengembangan usaha, seperti membantu menyusun rencana bisnis sederhana, strategi pemasaran, dan mengidentifikasi potensi akses pendanaan.

3. Tahap Evaluasi dan Perencanaan Keberlanjutan

Evaluasi proses dan hasil dilakukan melalui kuesioner *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur peningkatan pengetahuan dan keterampilan peserta, serta *Focus Group Discussion*

(FGD) untuk merefleksikan seluruh proses dan menangkap umpan balik kualitatif (Setiawan et al., 2025). Demplot yang dibuat akan dipantau perkembangannya dengan mengukur parameter kesuburan tanah sebagai bukti nyata (*evidence-based*) manfaat biochar. Untuk memastikan keberlanjutan, akan dirancang nota kesepahaman (MoU) antara perguruan tinggi, KPH, dan KTH untuk pendampingan jangka panjang, serta difasilitasi akses kepada skema pendanaan lain seperti program CSR atau dana desa agar masyarakat dapat mereplikasi dan mengembangkan usaha ini secara mandiri.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan pengabdian masyarakat dilaksanakan selama 3 bulan di Desa Long sam, di Kawasan Pemangkuan Hutan (KPH) Bulungan, Kalimantan Utara, dengan melibatkan 25 anggota dari dua Kelompok Tani Hutan (KTH) mitra. Hasil yang diperoleh mencakup aspek kapasitas sumber daya manusia, produksi, serta dampak ekonomi awal.

1. Peningkatan Kapasitas dan Pengetahuan Masyarakat

Berdasarkan hasil *pre-test* dan *post-test* yang diberikan kepada 25 peserta pelatihan, terjadi peningkatan pengetahuan yang signifikan mengenai teknologi pirolisis, manfaat biochar, dan asap cair. Hasilnya disajikan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Hasil *Pre-test* dan *Post-test* Pengetahuan Peserta

Aspek Penilaian	Rata-rata Nilai <i>Pre-test</i>	Rata-rata Nilai <i>Post-test</i>	Peningkatan
Prinsip dasar pirolisis	45,2	82,4	37,2
Manfaat dan aplikasi biochar	38,8	85,6	46,8
Pengolahan dan manfaat asap cair	32,4	80,0	47,6
Rata-rata keseluruhan	38,8	82,7	43,9

Peningkatan pengetahuan sebesar 43,9 poin menunjukkan bahwa metode pelatihan yang digunakan, yang menggabungkan teori dan praktik langsung, sangat efektif dalam transfer pengetahuan. Hal ini sejalan dengan temuan Rumidatul et al. (2025) yang menyatakan bahwa pendekatan *learning by doing* secara signifikan meningkatkan pemahaman dan retensi pengetahuan peserta pelatihan, terutama untuk teknologi baru di pedesaan. Materi yang disampaikan mencakup pentingnya pengelolaan limbah berkelanjutan, dampak negatif pembakaran terbuka, prinsip dasar proses pirolisis, serta manfaat biochar untuk tanah gambut dan asap cair sebagai biopestisida alami. Materi yang disampaikan relevan dengan kebutuhan peserta. Fokus pada aspek ekonomi sejak awal berhasil memotivasi peserta dan mengubah pola pikir mereka dari melihat limbah sebagai masalah menjadi peluang. Hal ini sesuai dengan pendekatan *asset-based community development* yang memprioritaskan pemanfaatan potensi lokal yang terabaikan (Asyahidda et al., 2024).

Keberhasilan kegiatan ini tidak hanya ditunjukkan oleh angka-angka output, tetapi juga oleh proses pemberdayaan yang terjadi. Peningkatan pengetahuan yang tinggi (Tabel 1) menjadi pondasi utama untuk adopsi teknologi berkelanjutan. Partisipasi aktif anggota KTH dalam setiap tahapan kegiatan, dari perakitan reaktor hingga produksi, menumbuhkan rasa

kepemilikan (*sense of ownership*) yang tinggi. Menurut Najamudin & Al Fajar (2024), faktor kepemilikan inilah yang menjadi kunci keberlanjutan suatu program pemberdayaan, karena masyarakat tidak lagi melihatnya sebagai proyek luar, tetapi sebagai aset dan usaha mereka sendiri.

2. Produksi Biochar dan Asap Cair

Selama masa pendampingan, Kelompok Tani Hutan (KTH) berhasil memproduksi kedua produk utama, yaitu biochar dan asap cair. Reaktor pirolisis tipe *Top-Lit Updraft* (TLUD) skala drum 200 L menunjukkan efisiensi yang baik dengan menggunakan limbah kayu (serbuk gergaji) dan tempurung kelapa (Gambar 1). Hasil produksi biochar dan asap cair hasil pirolisis, disajikan pada Tabel 2. KTH kini mampu mengoperasikan unit reaktor pirolisis sederhana secara mandiri, yang merupakan langkah nyata dalam melaksanakan program hilirisasi produk kehutanan, yang terus didorong oleh pemerintah pusat untuk meningkatkan nilai tambah hasil hutan. Secara lingkungan, pemanfaatan limbah menjadi produk bernilai ekonomi ini memberikan insentif bagi KTH untuk membersihkan areal, sehingga secara tidak langsung mengurangi risiko kebakaran hutan dan lahan (karhutla), mendukung upaya pengelolaan hutan berkelanjutan di Kalimantan Utara.



Gambar 1. Proses pirolisis untuk memproduksi biochar dan asap cair

Tabel 2. Hasil Produksi dari 100 kg Biomassa Kering

Jenis Biomassa	Rendemen Biochar	Rendemen Asap Cair
Serbuk gergaji	25 kg (25%)	40 kg (40%)
Tempurung kelapa	35 kg (35%)	35 kg (35%)

Rendemen biochar yang dihasilkan (25-35%) berada dalam kisaran yang tipikal untuk proses pirolisis lambat, sebagaimana dilaporkan oleh Isnainiyah et al. (2023). Rata-rata rendemen biochar yang dihasilkan adalah 30% (dari 100 kg biomassa kering dihasilkan 30 kg biochar), sedangkan rendemen asap cair adalah 35% (35 kg). Rendemen biochar dan asap cair yang diperoleh konsisten dengan studi literatur. Wijaya et al. (2021) melaporkan rendemen biochar dari limbah kayu berkisar antara 25-35%, bergantung pada jenis biomassa dan suhu pirolisis. Tempurung kelapa menghasilkan biochar lebih banyak karena memiliki kandungan lignin yang tinggi.

Hasil kegiatan menunjukkan bahwa pelatihan pembuatan biochar dan asap cair di KPH Bulungan berhasil meningkatkan kapasitas masyarakat dalam mengelola limbah biomassa menjadi produk bernilai ekonomi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Bawamenewi et al.

(2025) yang menyatakan bahwa teknologi pirolisis sederhana dapat diaplikasikan secara efektif di tingkat komunitas untuk menghasilkan biochar yang bermanfaat bagi kesuburan tanah dan mitigasi perubahan iklim. Biochar yang dihasilkan dari serbuk gergaji dan tempurung kelapa pada kegiatan ini memiliki karakteristik fisik yang baik (ringan, berpori, dan mudah dihancurkan), yang mengindikasikan kualitas karbonisasi yang optimal. Sementara itu, produksi asap cair dari proses yang sama memberikan nilai tambah ganda karena mampu mengkonversi gas buangan menjadi produk cair yang memiliki fungsi praktis.

Demonstrasi produksi asap cair menggunakan kondensor air. Asap hasil pirolisis dialirkan melalui pipa pendingin dan dikumpulkan dalam wadah kaca hingga menghasilkan cairan berwarna cokelat keemasan. Asap cair yang dihasilkan dari limbah biomassa juga berperan sebagai insektisida alami dan pengawet yang ramah lingkungan, berpotensi menggantikan bahan kimia sintesis dalam pertanian (Mariyamah et. al., 2020). Asap cair yang diperoleh, diaplikasikan ke biji coklat untuk mempercepat proses perkecambahan (Gambar 2). Biji coklat yang diberikan perlakuan perendaman asap cair menunjukkan proses perkecambahan lebih cepat dibandingkan dengan biji coklat tanpa direndam asap cair, hal ini sesuai dengan penelitian Murniati et al. (2020).



Gambar 2. Aplikasi asap cair pada biji coklat (a) direndam asap cair, (b) tanpa direndam asap cair

3. Dampak Ekonomi Awal dan Penerapan

Kelompok telah mulai memanfaatkan produk mereka sendiri. Biochar diaplikasikan pada demplot seluas 0,5 ha untuk budidaya cabai dan menunjukkan perbaikan visual pada vigor tanaman. Sementara itu, asap cair telah diuji coba sebagai pestisida nabati untuk mengendalikan hama aphid pada tanaman dengan hasil yang menjanjikan. Analisis sederhana menunjukkan potensi pendapatan baru.

Tabel 3. Analisis Potensi Ekonomi Sederhana per Satu Kali Produksi

Komponen	Nilai (Rp)
Biaya produksi (100 kg biomassa, tenaga)	150.000
Pendapatan Potensial:	
- 25 kg biochar (@Rp 10.000/kg)	250.000
- 12 kg asap cair (@Rp 25.000/kg)	300.000
Total pendapatan kotor	550.000
Keuntungan kotor per siklus	400.000

Potensi ekonomi yang ditunjukkan pada Tabel 3 merupakan indikator awal yang sangat positif. Margin keuntungan yang tinggi (± 400.000 per batch) menunjukkan kelayakan usaha skala mikro. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Novika et al. (2023) yang menyimpulkan bahwa usaha produksi biochar dan asap cair secara finansial layak dan mampu meningkatkan pendapatan sampingan kelompok tani secara signifikan. Namun, tantangan ke depan adalah konsistensi produksi, penjaminan kualitas, dan pengembangan pasar yang lebih stabil. Aplikasi biochar pada demplot pertanian merupakan langkah strategis untuk mendemonstrasikan manfaat langsungnya. Kusman et al. (2024) melaporkan bahwa aplikasi biochar secara konsisten dapat meningkatkan pH tanah, Kapasitas Tukar Kation (KTK), dan kandungan karbon organik tanah pada lahan-lahan marginal di Indonesia. Dengan demikian, program ini tidak hanya menciptakan nilai ekonomi dari limbah, tetapi juga berkontribusi pada perbaikan kesehatan tanah dan mendukung praktik pertanian berkelanjutan di sekitar kawasan hutan.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini telah berhasil memicu perubahan paradigma masyarakat dari melihat limbah biomassa sebagai masalah menjadi peluang. Model pemberdayaan yang integratif (teknis, ekonomi, dan lingkungan) ini dapat menjadi replika untuk wilayah lain di Indonesia yang kaya akan limbah biomassa namun masih menghadapi tantangan ekonomi dan lingkungan yang serupa

KESIMPULAN

Transfer teknologi pirolisis untuk produksi biochar dan asap cair berhasil dilakukan dan memberikan dampak positif yang signifikan. Program ini secara efektif meningkatkan pengetahuan dan keterampilan Kelompok Tani Hutan (KTH) tentang teknologi bernilai tambah, yang dibuktikan dengan kemampuan KTH mengoperasikan unit reaktor pirolisis sederhana dan menghasilkan produk secara mandiri. Keberhasilan ini tidak hanya memberikan solusi terhadap permasalahan ekonomi KTH melalui hilirisasi limbah biomassa kehutanan menjadi produk yang bernilai jual (biochar sebagai pembenah tanah dan asap cair sebagai biopestisida), tetapi juga mendukung upaya pengelolaan hutan lestari dengan mengurangi timbunan limbah yang berpotensi menyebabkan Karhutla, sejalan dengan program Perhutanan Sosial dan Rencana Pengelolaan Hutan Jangka Panjang daerah. Meskipun tantangan keberlanjutan produk dan pemasaran masih memerlukan pendampingan lanjutan, kegiatan ini telah meletakkan pondasi kuat bagi kemandirian ekonomi KTH dan praktik kehutanan yang lebih ramah lingkungan di KPH Bulungan

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang setinggi-tingginya kepada Direktorat Pengabdian Masyarakat dan Layanan Kepakaran ITB yang telah memberikan dukungan pendanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat tahun anggaran 2025 dengan No. Kontrak 19A/IT1.C11/SK-TA/2025, Kelompok Keilmuan Teknologi Kehutanan Sekolah

Ilmu dan Teknologi Hayati ITB, Dinas Kehutanan Kalimantan Utara, KPH Bulungan dan Kelompok Tani Hutan Desa Long Sam, Kalimantan Utara.

DAFTAR PUSTAKA

- Asyahidda, F.N., Nurbayani, S., Nur, M. (2024) Strategi Optimalisasi Inklusi Ekonomi melalui Pendekatan *Asset-Based Community Development* (ABCD) di Desa Buniara. Studi Kasus Inovasi Ekonomi, 8(2), 129-138. <https://doi.org/10.22219/skie.v8i02.35546>.
- Bawamenewi, T.A., Gen, F.H., Waruwa, S. (2025). Penggunaan Biochar untuk Meningkatkan Kualitas Tanah pada Sistem Pertanian Berkelanjutan. *Hidroponik: Jurnal Ilmu Pertanian dan Teknologi dalam Ilmu Tanaman*, 2(1), 179-187. <https://doi.org/10.62951/hidroponik.v2i1.257>.
- Evizal, R. dan Prasmatiwi, F.E. (2023). Biochar: Pemanfaatan dan Aplikasi Praktis. *Jurnal Agrotropika*, 22(1), 1-12. <https://doi.org/10.23960/ja.v22i1.7151>.
- Gunawan, W. dan Sutrisno, B. (2021). Pemetaan Sosial untuk Perencanaan Pembangunan Masyarakat. *Sawala: Jurnal pengabdian Masyarakat Pembangunan Sosial Desa dan Masyarakat*, 2(2), 94-105. <https://doi.org/10.24198/sawala.v2i2.32761>.
- Hadiyane, A., Navila, A., Karliati, T., Pari, G., Darmawan, S., Rumidatul, A. (2024). Pemanfaatan Asap cair kayu Pinus sebagai Biopestisida dalam Menghambat Serangan Hama Penggerek (*Hypothenemus hampei* Ferr.) Buah Kopi. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 42(1), 17-30. <https://doi.org/10.55981/jphh.2024.1985>.
- Harlianingtyas, I., Sugiyarto, Triwiarto, C., Supriyadi. (2023). Pembuatan Asap Cair, Biochar, dan Arang Aktif dengan Alat Pirolisis Detachable pada Rintisan Teaching Factory Pembibitan Politeknik Negeri Jember. *Agrimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat Bidang Pertanian*, 2(2), 97-104. <https://doi.org/10.25047/agrimas.v2i2.40>.
- Isnainiyah, N.S., Nelumbium, T.P., Wijaksana, F.F., Andreas, P., Nurdian, Y. (2023). Pengolahan Limbah Jerami Padi menjadi Biochar untuk Meningkatkan Kualitas Tanah di Desa Tegal Mijin Bondowoso. *Abditani: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 6(1), 48-57. <https://doi.org/10.31970/abditani.v6i1.207>.
- Kusman, H., Mulyati, Suwardji. (2024). The Use of Biochard for Improving Soil Quality and Environmental Services. *Jurnal Biologi Tropis*, 24(4), 147-156. <http://doi.org/10.29303/jbt.v24i4.7199>.
- Krecl, P., de Lima, C.H., Bosco, T.C.D., Targino, A.C. Hashimoto, E., Oukawa, G. (2021). Open waste burning causes fast and sharp changes in particulate concentrations in peripheral neighborhoods. *The Science of The Total Environmental*, 755, 142736. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142736>.
- Mariyamah, Kholidah, N., Sari, S.P. (2020). Penerapan Teknologi Pengolahan Limbah Biomassa Menjadi Asap Cair di Desa Sungai Dua Banyuasin. *Jast: Jurnal Aplikasi Sains dan Teknologi*, 4(2), 134-141. <https://doi.org/10.33366/jast.v4i2.2053>.
- Murniati, N., Sumini, Oriando, Y. (2020). Respon Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Padi dengan Pemberian Konsentrasi dan Asal Bahan Asap Cair. *Jurnal Planta Simbiosis*, 2(1), 46-57. <https://doi.org/10.25181/jplantasimbiosa.v2i1.1615>.
- Murphy, D.J. (2025). Carbon Sequestration for Global-Scale Climate Change Mitigation: Overview of Strategies Plus Enhanced Roles for Perennial Crops. *Crpos*, 5(3), 39. <https://doi.org/10.3390/crops5030039>.
- Najamudin, F. dan Al Fajar, A.H. (2024). Pemberdayaan Masyarakat Berbasis Sumber Daya Lokal melalui Pendekatan ABCD untuk Mencapai SDG 1: Tanpa Kemiskinan. *Focus: Jurnal Pekerjaan Sosial*, 7(2), 142-158. <https://doi.org/10.24198/focus.v7i2.58936>.

- Novika, S., Khairiah, Gami, E.R.P., Hasibuan, A., Haryadi, J., Harahap, R.H. (2023). Pembuatan Biochar Dan Asap Cair Dalam Upaya Meningkatkan Nilai Ekonomis Limbah Sekam Padi Di Desa Ujung Rambe Kecamatan Bangun Purba. *Amaliah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (AJPKM)*, 7(2), 261-266. <https://doi.org/10.32696/ajpkm.v7i2.2507>.
- Rumidatul, A., Hidayat, Y., Hadiyane, A., Sembada, A.A. (2025). Pelatihan Diversifikasi Produk Olahan Jagung menjadi Tepung Maizena bagi Kelompok Taruna Tani Gunung Geulis. *Room of Civil Society Development*, 4(6), 938-949. <https://doi.org/10.59110/rcsd.774>.
- Setiawan, D., Mukromin, Firdaus. (2025). Metode Focus Group Discussion (FGD) dalam Peningkatan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa Kelas VIII pada Mata Pelajaran PAI di SMP Entrepreneur Ar-Ridwan Gunung Tawang Selomerto Wonosobo. *Reflection: Islamic Education Journal*, 2(3), 10-28. <https://doi.org/10.61132/reflection.v2i3.1106>.