

Pembuatan Asap Cair, Biochar, dan Arang Aktif dengan Alat Pirolisis Detachable pada Rintisan Teaching Factory Pembibitan Politeknik Negeri Jember

Making Liquid Smoke, Biochar, and Activated Charcoal using a Detachable Pyrolysis Equipment at the Nursery Teaching Factory Pilot of Politeknik Negeri Jember

Author(s): Irma Harlianingtyas^{1*}, Sugiyarto¹, Cherry Triwiarto¹, Supriyadi¹

¹ Jurusan Produksi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

*Coressponding author: irma@polije.ac.id

Submitted: Agustus 21, 2023

Accepted: September 14, 2023

Published: October 28, 2023

ABSTRAK

Permasalahan kesuburan lahan di lahan Politeknik Negeri Jember menjadi hal yang penting untuk ditangani, sehingga perlu adanya rehabilitasi lahan untuk menjaga kesuburan lahan. Pada Politeknik Negeri Jember terdapat limbah pertanian yang melimpah seperti tempurung kelapa, kulit kopi, kulit kakao, sekam padi, dan tongkol jagung sangat berpotensi untuk dimanfaatkan menjadi produk organik yang bermanfaat untuk kesuburan lahan. Berdasarkan hal ini tim pelaksana pengabdian mengusulkan untuk memberikan solusi dengan memanfaatkan limbah pertanian menjadi produk biochar, bio-oil, dan arang aktif yang berperan dalam kesuburan tanah. Tim pengusul bersama pengelola Rintisan Teaching Factory Pembibitan sepakat untuk membuat alat pirolisis untuk memproduksi biochar, bio-oil, dan arang aktif yang berfungsi untuk rehabilitasi lahan. Kegiatan pengabdian diawali dengan Forum Group Discussion (FGD) antara tim pengusul dengan pengelola TeFa Pembibitan untuk sepakat dalam menentukan SOP pembuatan produk, lokasi, dan pemeliharaan alat. Tim pengusul juga memberikan pendampingan uji kandungan produk, pengemasan, legalitas produk, hingga pemasaran produk untuk keberlanjutan program. Setelah kegiatan ini diharapkan adanya income dari penjualan produk, penambahan investasi alat, dan pengelolaan bahan baku limbah pertanian.

Kata Kunci:

lahan,
limbah,
media,
kesuburan,
tempurung.

Keywords:

land,
waste,
media,
fertility,
shell.

ABSTRACT

The problem of land fertility on the Jember State Polytechnic land is an important matter to be addressed, so there is a need for land rehabilitation to maintain land fertility. Politeknik Negeri Jember has an abundance of agricultural waste such as coconut shells, coffee shells, cocoa shells, rice husks and corn cobs which have the potential to be used as organic products that are beneficial for land fertility. Based on this, the community service implementation team proposes to provide a solution by utilizing agricultural waste into biochar, bio-oil and activated charcoal products which play a role in soil fertility. The proposing team together with the management of the Nursery Teaching Factory pilot agreed to make a pyrolysis tool to produce biochar, bio-oil and activated charcoal which functions for land rehabilitation. The service activity began with a Forum Group Discussion (FGD) between the proposing team and the TeFa Nursery management to agree on determining the SOP for product manufacture, location and equipment maintenance. The proposing team also provides assistance in testing product content, packaging, product legality, and product marketing for program sustainability. After this activity, it is hoped that there will be income from product sales, additional investment in equipment, and management of agricultural waste raw materials.



1. Introduction

Kabupaten Jember merupakan salah satu Kabupaten di provinsi Jawa Timur yang mayoritas mata pencaharian penduduknya adalah sebagai petani sebanyak 421.047 penduduk yang berprofesi sebagai petani dengan luasan lahan 157.596 hektar tanaman padi, 64.489 hektar tanaman jagung, 3.666 hektar tanaman kedelai, 2.116 hektar kacang tanah, 109 hektar ubi kayu, 2 107 hektar cabe rawit, 139.731 hektar tanaman sayuran, 48.055 hektar tanaman kelapa, 5.279,6 hektar tanaman tebu, 16.484 hektar tanaman tembakau, dan 14.586,5 hektar tanaman kopi [1]. Banyaknya masyarakat yang bermata pencaharian utama sebagai petani ini membuat kesuburan lahan pertanian menjadi aspek yang penting untuk ditangani.

Bahan organik sisa pertanian dan peternakan dapat diolah menjadi biochar yang difungsikan untuk membenahi tanah dengan metode pirolisis menggunakan pirolisator. Biochar mampu meningkatkan pH tanah, meretensi hara yang mudah larut, mereduksi logam racun, dan menurunkan kepadatan isi tanah [2]. Selain itu, penerapan biochar juga dapat meningkatkan daya minat mikroba pada lingkungan rizosfer, membantu tanaman untuk mengambil unsur hara yang sulit dilarutkan/ diambil oleh akar tanaman [3]. Asap yang dihasilkan dari pembuatan biochar dapat direkayasa menjadi cairan multifungsi melalui proses kondensasi, dimana asap dialirkan melalui selang pembuangan yang dikondisikan dingin sehingga dari selang tersebut mengeluarkan cairan bening berwarna kuning kehitaman dan berbau sangat yang disebut dengan asap cair [4].

Biochar adalah arang hasil proses pirolisis dengan suhu sekitar 300-500

derajat Celcius dalam kondisi tanpa oksigen atau oksigen yang terbatas. Pembena tanah dari biochar (arang) limbah biomassa telah berkembang di dunia pertanian. Biochar sebagai pembena tanah diketahui mampu merangsang kesuburan tanah dengan meningkatkan nilai pH tanah dan kapasitas tukar kation (KTK), mempertahankan kelembaban tanah, memicu pertumbuhan mikrob tanah, dan menjaga nutrisi tanah [5]. Selain itu, biochar mampu bertahan cukup lama di dalam tanah karena relatif resisten terhadap serangan mikrob tanah, sehingga proses dekomposisi berjalan lambat [6]. Berbagai penelitian aplikasi biochar pun menunjukkan hasil yang positif, namun hal ini tidak bersifat universal karena sebagian penelitian lain justru menunjukkan dampak negatif akibat aplikasi biochar [3]. Biochar berperan sebagai penyeimbang karbon dan habitat fungi serta mikrob tanah lainnya [7].

Produk biochar yang berfungsi sebagai bahan pembena tanah alami yang murah, terbarukan, bersifat insitu, efektif dalam memperbaiki kualitas tanah dan produktivitas lahan, serta mendukung konservasi karbon dalam tanah [8]. Biochar yang akan diproduksi berasal dari bahan baku limbah pertanian seperti tempurung kelapa, sekam padi, tongkol jagung, kulit kopi, kulit kakao, dan tandan kosong kelapa sawit [9].

Selain sebagai biochar, pemanfaatan limbah pertanian lainnya adalah bio-oil (asap cair) dan arang aktif. Asap cair adalah salah satu hasil dari pirolisis kayu atau tanaman pada suhu sekitar 400°C [10]. Akhir-akhir ini, asap cair telah banyak digunakan oleh para pelaku industri pangan sebagai pemberi aroma, tekstur, dan citarasa yang khas pada produk pangan, seperti daging, ikan, dan keju. Asap cair mampu mengawetkan

suatu bahan makanan karena dalam asap cair terkandung senyawa asam, fenolat dan karbonil [11].

Bio-Oil (asap cair) merupakan cairan kondensat uap asap hasil pirolisis kayu yang mengandung senyawa penyusun utama asam, fenol dan karbonil sebagai hasil degradasi termal komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin. Senyawa asam, fenol dan karbonil dalam asap cair memiliki kontribusi dalam memberikan sifat karakteristik aroma, warna, flavor serta antioksidan dan antimikroba [12].

Biomassa terutama yang kandungan ligninnya tinggi dapat dimanfaatkan menjadi asap cair, arang hayati dan rang aktif dengan cara pembakaran langsung melalui konversi termokimiawi. Dengan metode ini dekomposisi biomassa dilakukan melalui proses pirolisis atau gasifikasi. Pirolisis adalah dekomposisi termal tanpa adanya udara, sedangkan pada proses gasifikasi, dekomposisi dilakukan dengan adanya sedikit udara. Proses pirolisis merupakan proses pembakaran dengan minim oksigen. Input untuk proses pirolisis dapat berupa bahan tumbuhan alami yang dikenal sebagai biomassa atau polimer [13]. Pirolisis dapat dikategorikan menjadi pirolisis lambat, cepat dan kilat. Pirolisis lambat dilakukan pada suhu 300- 700°C dengan waktu tinggal 10 - 15 menit, dan dihasilkan produk dengan komposisi asap cair, arang, dan gas sebanyak 30%, 35%, dan 35%. [14].

Tempurung kelapa adalah salah satu bahan baku yang sangat potensial untuk dijadikan asap cair, dimana bahan baku melimpah dan mudah di dapat. Pada proses pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa akan dihasilkan asap, asap inilah yang dapat dimanfaatkan sebagai asap cair dengan mengubahnya dari fase gas menjadi fase cair dengan

proses kondensasi. Asap cair mengandung berbagai senyawa yang dapat dikelompokkan ke dalam kelompok senyawa fenol, asam dan kelompok senyawa karbonil. Kelompok-kelompok senyawa tersebut berperan sebagai antimikroba, antioksidan, pemberi flavor (flavoring) dan pembentuk warna (coloring). Karena asap cair dapat berperan sebagai antimikroba dan antioksidan, maka asap cair dapat digunakan sebagai bahan pengawet [15]. Dalam tempurung kelapa mengandung pentose sebanyak 27,7%, selulosa 26,6%, lignin 29,4%, air 8%, pelarut ekstraksi 4,2%, uronat anhidrat 3,5%, dan abu 0,6% [16]. Sehingga asap cair dari tempurung kelapa dapat dimanfaatkan untuk mengawetkan bahan makanan yang aman [17].

Asap cair tempurung kelapa yang mengandung senyawa senyawa fenol 4,13%, karbonil 1,30% dan keasaman 10,2% yang bermanfaat sebagai pengendali serangga pemakan tumbuhan karena sifatnya yang sangat beracun [18]. Penggunaan biopestisida (asap cair) dapat mengurangi pencemaran lingkungan dan harganya relatif lebih murah apabila dibandingkan dengan pestisida kimia [19].

Pemanfaatan limbah pertanian lainnya adalah pembuatan arang aktif, yakni suatu karbon yang mempunyai kemampuan daya serap baik terhadap anion, kation, dan molekul dalam bentuk senyawa organik dan anorganik, baik berupa larutan maupun gas. Beberapa bahan yang mengandung banyak karbon dan terutama yang memiliki pori dapat digunakan untuk membuat arang aktif [20].

Arang aktif adalah arang yang diproses sedemikian rupa sehingga mempunyai daya serap/adsorpsi yang tinggi terhadap bahan yang berbentuk larutan atau uap. Karbon aktif secara luas digunakan

sebagai adsorben dan secara umum mempunyai kapasitas yang besar untuk mengadsorpsi molekul organik [21].

Proses aktivasi merupakan suatu perlakuan terhadap arang yang bertujuan untuk memperbesar pori yaitu dengan cara memecahkan ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul permukaan sehingga arang mengalami perubahan sifat, baik fisika maupun kimia, yaitu luas permukaannya bertambah besar dan berpengaruh terhadap daya adsorpsi [22]. Pada bidang pertanian arang aktif dapat digunakan sebagai komponen tambahan pada media tanam dan media kultur in vitro [20].

Banyaknya limbah pertanian yang belum dimanfaatkan membuat tim pelaksana termotivasi untuk membuat produk biochar, asap cair, dan arang aktif menggunakan alat pirolisis. Tim pelaksana bersama pengelola Rintisan Teaching Factory Pembibitan yang ada di Politeknik Negeri Jember sepakat untuk membuat alat pirolisis. Selain pemanfaatan limbah, kegiatan ini bertujuan sebagai *income generating* TeFa dengan memproduksi produk yang memiliki nilai jual.

2. Method

Tim pengusul bersama mitra yakni Tefa Pembibitan telah bersepakat bahwa tim pengusul akan memberikan penyuluhan, FGD bersama pengelola TeFa, pelatihan pembuatan produk biochar, bio-oil, dan arang aktif, serta memberikan pendampingan pengemasan produk hingga pemasaran.

Forum Group Discussion (FGD)

Kegiatan yang dilakukan dimulai dari diskusi terkait permasalahan yang ada pada Tefa Pembibitan, kemudian melakukan FGD dengan pengelola TeFa Pembibitan untuk membuat solusi dan inisiasi pembuatan produk pertanian yang dapat menambah income TeFa melalui

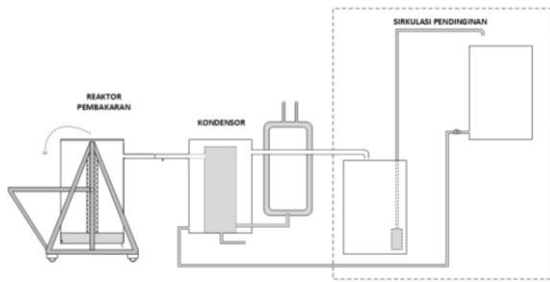
pemanfaatan limbah pertanian menjadi produk yang bernilai jual tinggi yakni biochar, bio-oil, dan arang aktif.

Pembuatan Alat Pirolisis

Alat Pirolisis dirancang secara modular yang dapat disatukan menjadi satu unit lengkap alat yang mampu menghasilkan biochar dan *bio-oil* (asap cair). Bagian-bagian unit itu meliputi:

- a) Reaktor pembakaran yang terbuat dari drum yang dapat ditutup rapat agar oksigen tidak dapat masuk secara bebas.
- b) Kondensor yang terbuat dari drum yang di bagian tengahnya dilengkapi dengan drum kecil berbahan stainless steel dengan diameter 30 cm. Drum kecil ini dihubungkan ke reaktor pembakaran dengan pipa besi berdiameter 2,5 inchi sehingga asap hasil pembakaran akan terperangkap masuk dan mengalami pemekatan dan kondensasi. Agar terjadi proses kondensasi drum luarnya dipenuhi dengan air yang terus menerus mengalir sedemikian rupa sehingga asap panas dari reaktor pembakaran mengalami penurunan suhu dan berubah wujud dari gas menjadi cair dan keluar melalui lubang kecil yang ada di dasar kondensor dan dilairkan dengan pipa menuju tempat penampungan asap cair.
- c) Tabung pemekatan asap dingin yang berupa tabung PVC yang dirancang berbentuk persegi panjang dan bagian atasnya diberi lubang pengeluaran asap.
- d) Alat sirkulasi air pendingin kondensor yang menampung asap panas dari reaktor pembakaran diperlukan aliran air dingin yang terus menerus.





Gambar 1. Desain Alat Pirolisis

Pelatihan pembuatan biochar, bio-oil, dan arang aktif

Tim pelaksana menginisiasi pemanfaatan limbah pertanian menjadi produk yang bernilai jual tinggi yakni biochar, bio-oil, dan arang aktif yang juga bermanfaat sebagai pembenah lahan yang ramah lingkungan dan ekonomis. Tim pengusul juga memberikan pelatihan secara berkala cara pembuatan biochar, bio-oil, dan arang aktif. Alat pirolisis yang digunakan dapat memproduksi biochar dan asap cair dalam waktu bersamaan.

a) Pembuatan Biochar

Bahan baku utama yang digunakan adalah tempurung kelapa dengan bahan tambahan sebagai pemicu pembakaran adalah tongkol jagung. Semua bahan baku harus dalam keadaan benar benar kering. Tongkol jagung sebanyak 20% dari total bahan baku dimasukkan terlebih dahulu kedalam tabung reactor hingga terbakar sempurna, kemudian memasukkan bahan baku ke dalam tabung reaktor hingga penuh dan drum reaktor ditutup rapat. Biochar yang dihasilkan setelah pelepasan drum pembakaran dari drum kondensasi dan proses pendinginan sebanyak 7 – 8 kg.

b) Pembuatan Asap Cair (Bio-Oil)

Proses pembuatan asap cair sama halnya dengan pembuatan biochar, karena alat pirolisis yang digunakan dapat sekaligus menghasilkan asap cair setelah 10 menit drum reaktor

ditutup. Pada pembakaran tempurung kelapa sebanyak 35 – 40 kg dapat dihasilkan asap cair sebanyak 6 – 7 liter.

c) Pembuatan Arang Aktif

Setelah biochar dihasilkan melalui proses pembakaran dapat diaktifkan menjadi arang aktif dengan cara merendam kedalam larutan garam, misalnya $ZnCl_2$. Kemudian dilakukan pencucian dengan air dan pengeringan kembali.



Gambar 2. Pendampingan pembuatan produk

Pendampingan pengemasan produk menjadi produk komersil, uji laboratorium produk, hingga pendampingan pemasaran.

3. Result and discussion

Program pengabdian kepada masyarakat yang dilaksanakan di Tefa Pembibitan Politeknik Negeri Jember dengan judul Pembuatan Biochar, Bio-Oil, dan Arang Aktif sebagai Income Generating Tefa Pembibitan Mendukung Badan Layanan Umum Politeknik Negeri Jember dapat dinilai sudah berjalan dengan baik dan terjadwal.

No	Jenis Kegiatan	Target	Indikator Capaian
1	Keikutsertaan peserta	80% pengelola TeFa mengikuti FGD	Peserta hadir sesuai undangan
2	FGD tentang pembuatan produk biochar, bio-oil, dan arang aktif	Kesepakatan tim pengusul dengan mitra terkait organisasi, SOP pembuatan produk, lokasi, dan pemeliharaan alat	<ul style="list-style-type: none"> Adanya organisasi pengelola produk, SOP pembuatan produk, lokasi, dan pemeliharaan alat
3	Pelatihan pembuatan biochar, bio-oil, dan arang aktif	<ul style="list-style-type: none"> 80% Peserta terampil membuat biochar, bio-oil, dan arang aktif Adanya produk biochar, bio-oil, dan arang aktif 	<ul style="list-style-type: none"> 80% peserta dapat membuat biochar, bio-oil, dan arang aktif secara mandiri Peserta mampu mengoperasikan alat dan mengelola bahan baku
4	Uji kandungan produk dan pengemasan	<ul style="list-style-type: none"> Kandungan bahan aktif pada produk sesuai standar Kemasan produk layak dipasarkan 	<ul style="list-style-type: none"> Kandungan pada biochar, bio-oil, dan arang aktif sudah diujikan Label dan kemasan produk dapat terbaca jelas
5	Pemasaran dan manajemen produksi	<ul style="list-style-type: none"> Ada produk terjual Adanya akun toko digital yang telah aktif Tersedianya bahan baku secara kontinyu 	<ul style="list-style-type: none"> Ada produk terjual Adanya akun media sosial (instagram), toko digital pada Shopee Bahan baku tersedia

Berdasarkan kegiatan yang telah dilaksanakan, berikut hasil yang diperoleh.

Forum Group Discussion (FGD) Tim Pengusul dan Rintisan Tefa Pembibitan

Pada tahap ini tim pelaksana memberi materi tentang cara pembuatan biochar, bio-oil, dan arang aktif beserta manfaatnya. Kegiatan FGD dilakukan dengan cara penyampaian materi selama 60 menit dan dilanjutkan diskusi serta tanya jawab bersama pengelola Tefa. Hasil dari kegiatan ini diharsilkan adanya kesepakatan terkait organisasi, pengelolaan bahan baku, pemeliharaan alat, SOP pembuatan produk, pengemasan, pemasaran, dan manajemen produksi. Pada saat pelaksanaan kegiatan pemaparan materi tentang olahan produk kelapa dan cara pembuatannya peserta terlihat sangat antusias dan diskusi berjalan dengan baik, peserta dapat memahami tahapan - tahapan proses pembuatan produk.

Pelatihan Pembuatan Produk

Terdapat 3 produk luaran yang telah dibuat tim pelaksana bersama mitra, yakni asap cair, biochar, dan arang aktif.



Gambar 3 Produksi Asap Cair

Proses pembuatan asap cair dapat diikuti dengan mudah oleh peserta dengan arahan tim pelaksana. Asap cair yang dihasilkan berwarna coklat tua ini dapat dikatakan berhasil. Pada praktiknya 100% peserta telah mampu membuat asap cair sesuai tahapan yang telah disosialisasikan. Proses pembuatan asap cair menggunakan sistem pirolisis.

Pirolisis merupakan dekomposisi termokimia suatu bahan melalui proses pemanasan dengan sedikit oksigen. Hasil dari pirolisis yang utama ialah asap cair yang merupakan hasil kondensasi uap dari pembakaran secara langsung maupun tidak langsung dari bahan yang mengandung lignin, selulosa, hemi selulosa dan senyawa karbon lainnya.

Selain itu pirolisis juga menghasilkan biochar. Proses pembuatan biochar dengan cara memanfaatkan arang sisa pembakaran untuk asap cair dengan cara mengatur oksigen yang masuk ke dalam tabung agar tidak terjadi pembakaran sempurna. Arang kemudian dihaluskan menjadi bubuk biochar. Sedangkan untuk pembuatan arang aktif, arang hasil pembakaran tidak dihaluskan tetapi diaktifasi dengan cara merendam kedalam larutan garam, $ZnCl_2$. Kemudian dilakukan pencucian dengan air dan pengeringan kembali.



Gambar 4. Pembuatan biochar dan arang aktif

Pelatihan pengemasan produk

Pendampingan terhadap pengelola Rintisan TeFa Pembibitan dalam membuat desain kemasan dan label masing-masing produk. Kemudian produk dikemas menjadi produk yang layak berkompetisi di pasaran. Serta memberikan pengarahan cara penyimpanan produk yang benar.



Gambar 5. Produk asap cair, biochar, dan arang aktif

Pendampingan Pemasaran Produk

Pendampingan pemasaran produk dengan cara pembuatan akun Instagram untuk sarana promosi pada media sosial, dan pembuatan akun di e-commerce Shopee sebagai sarana penjualan secara digital. Untuk keberlanjutan program ini,

tim pengusul juga memberikan pelatihan dan pendampingan terkait pemeliharaan alat, pengelolaan bahan baku, dan manajemen produksi.

4. Conclusion

Kegiatan pengabdian masyarakat dengan judul ini mampu mengembangkan potensi pada rintisan *Teaching Factory* Pembibitan dengan memanfaatkan limbah pertanian menjadi produk biochar, bio-oil, dan arang aktif yang berfungsi sebagai pembenah tanah, bio-pestisida, pengawet makanan dan *recarbonizing* lahan. Sehingga, produk ini berpotensi dipasarkan dalam skala lokal maupun industri dan dapat menjadi salah satu *income generating* guna mendukung BLU Polije.

5. References

- [1] Badan Pusat Statistik Kabupaten Jember, "Kabupaten Jember Dalam Angka," Jember, 2022.
- [2] R. Phuong, D.T.M., Miyaniishi, T., Okayama, T., Kose, "Pore characteristics and adsorption capacities of biochars derived from rice residues as affected by variety and pyrolysis temperature," *Am. J. Innov. Res. Appl. Sci.*, vol. 2, pp. 179–189, 2016.
- [3] K. Y. Chan, L. Van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph, "Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment," *Soil Res.*, vol. 45, no. 8, pp. 629–634, 2007.
- [4] M. H. Abdillah, M. Lukmana, I. Indriani, and R. Nur, "Iptek bagi Masyarakat dalam Mengolah Biomassa menjadi Biochar dan Asap Cair Menggunakan Pirolisator Portabel," *Sasambo J. Abdimas (Journal Community Serv.)*, vol. 5, no. 1, pp. 14–23, 2023.
- [5] L. Ajema, "Effects of biochar

© 2022  OPEN ACCESS

© 2022

[Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

[Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



- application on beneficial soil organism,” *Int. J. Res. Stud. Sci. Eng. Technol.*, vol. 5, pp. 9–18, 2018.
- [6] J. Tang, W. Zhu, R. Kookana, and A. Katayama, “Characteristics of biochar and its application in remediation of contaminated soil,” *J. Biosci. Bioeng.*, vol. 116, no. 6, pp. 653–659, 2013.
- [7] S. Steinbeiss, G. Gleixner, and M. Antonietti, “Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity,” *Soil Biol. Biochem.*, vol. 41, no. 6, pp. 1301–1310, 2009.
- [8] A. Dariah, S. Sutono, L. Nurida, W. Hartatik, and E. Pratiwi, “Pembenah tanah untuk meningkatkan produktivitas lahan pertanian,” 2015.
- [9] N. L. Neneng and R. Achmad, “Biochar Pembenh Tanah Yang Potensial.” IAARD Press, 2015.
- [10] I. Aisyah, N. Juli, and G. Pari, “Pemanfaatan asap cair tempurung kelapa untuk mengendalikan cendawan penyebab penyakit antraknosa dan layu Fusarium pada ketimun,” *J. Penelit. Has. Hutan*, vol. 31, no. 2, pp. 170–178, 2013.
- [11] S. Soldera, N. Sebastianutto, and R. Bortolomeazzi, “Composition of phenolic compounds and antioxidant activity of commercial aqueous smoke flavorings,” *J. Agric. Food Chem.*, vol. 56, no. 8, pp. 2727–2734, 2008.
- [12] F. R. RESTUHADI, “Karakteristik asap cair dari proses pirolisis limbah sabut kelapa muda,” *Sagu*, vol. 14, no. 2, pp. 43–50, 2015.
- [13] S. A. Nurfaritsya, I. Rusnandi, and R. Daniar, “Pengaruh Variasi Temperatur dan Waktu Proses Pirolisis Tatal Kayu Karet untuk Pembuatan Bio-Char, Bio-Oil dan Syngas sebagai Bahan Bakar,” *J. Pendidik. Tambusai*, vol. 7, no. 3, pp. 24569–24576, 2023.
- [14] M. I. Jahirul, M. G. Rasul, A. A. Chowdhury, and N. Ashwath, “Biofuels production through biomass pyrolysis—a technological review,” *Energies*, vol. 5, no. 12, pp. 4952–5001, 2012.
- [15] S. Yuwanti, “Asap cair sebagai pengawet alami pada bandeng presto,” *Agritech*, vol. 25, no. 1, pp. 36–40, 2005.
- [16] S. Husseinsyah and M. Mostapha, “The effect of filler content on properties of coconut shell filled polyester composites,” *Malaysian Polym. J.*, vol. 6, no. 1, pp. 87–97, 2011.
- [17] F. Assidiq, T. D. Rosahdi, and B. V. El Viera, “Pemanfaatan asap cair tempurung kelapa dalam pengawetan daging sapi,” *al Kim. J. Ilmu Kim. dan Terap.*, vol. 5, no. 1, pp. 34–41, 2018.
- [18] I. Isa, W. J. Musa, and S. W. Rahman, “Pemanfaatan asap cair tempurung kelapa sebagai pestisida organik terhadap mortalitas ulat grayak (*Spodoptera litura* F.),” *Jambura J. Chem.*, vol. 1, no. 1, pp. 15–20, 2019.
- [19] S. Sudarmo and S. Mulyaningsih, *Mudah Membuat Pestisida Nabati Ampuh*. AgroMedia, 2014.
- [20] M. Lempang, “Pembuatan dan kegunaan arang aktif,” *Bul. Eboni*, vol. 11, no. 2, pp. 65–80, 2014.
- [21] I. Syauqiah, M. Amalia, and H. A. Kartini, “Analisis variasi waktu dan kecepatan pengaduk pada proses adsorpsi limbah logam berat dengan arang aktif,” *Info-Teknik*, vol. 12, no. 1, pp. 11–20, 2011.
- [22] S. Jamilatun and M. Setyawan, “Pembuatan arang aktif dari tempurung kelapa dan aplikasinya untuk penjernihan asap cair,” *Spektrum Ind.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–112, 2014.

