

BAHAN ORGANIK MENJANJIKAN DARI BIOCHAR TONGKOL JAGUNG, CANGKANG DAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT BERDASARKAN SIFAT KIMIA

Sukmawati

Program Studi agroteknologi Fakultas Pertanian, Peternakan dan Perikanan, Universitas Muhammadiyah
Parepare, Jalan Jendral Ahmad Yani 90235 Parepare, Sulawesi Selatan Indonesia
E-mail: Sukmakuuh76@gmail.com

ABSTRAK

suhu pirolisis dan bahan baku karena dapat memberikan informasi detail agar penerapannya sebagai amandemen dapat disesuaikan dengan jenis tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji sifat kimia biochar dari tongkol jagung, cangkang dan tandan kosong kelapa sawit hasil pirolisis menggunakan suhu 300-400⁰C. Karakteristik sifat kimia berdasarkan komponen kimia (pH, KTK, C-organik) dan proximat (kelembaban, massa yang hilang, kadar abu, zat volatile, karbon tetap). Hasil karakterisasi menunjukkan pH biochar dari tongkol jagung, cangkang dan tandan kosong kelapa sawit bersifat alkali, masing-masing 7,3, 7,2 dan 7,3. Biochar dari tongkol jagung mengandung C-organik dan karbon tetap tertinggi masing-masing 70,2% dan 71,62%. Biochar dari cangkang kelapa sawit mengalami kehilangan massa yang paling tinggi 32,02%, namun menghasilkan zat volatil tertinggi 27,74%. Sedangkan biochar dari tandan kosong kelapa sawit memiliki kelembaban dan kadar abu tertinggi, masing-masing 6,37% dan 15,41 %. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa biochar dari tongkol jagung, cangkang kelapa sawit dan tandan kosong kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan pembenah tanah untuk kesuburan tanah.

Kata Kunci: *biomassa, degradasi, karakterisasi, pirolisis*

ABSTRACT

Characterization of chemical properties is the basic concept of biochar production which is influenced by pyrolysis temperature and raw materials because it can provide detailed information so that its application as an amendment can be adapted to soil types. This study aimed to examine the chemical properties of biochar from corn cobs, shells and empty bunches of oil palm pyrolysis results using a temperature of 300-400⁰C. Chemical characteristics based on chemical components (pH, CEC, C-organic) and proximates (moisture, mass loss, ash content, volatile substances, fixed carbon). The characterization results showed that the biochar pH of the corn cobs, shells and empty shells of oil palm were alkaline, respectively 7.3, 7.2 and 7.3. Biochar from corn cobs contained the highest C-organic and fixed carbon, respectively 70.2% and 71.62%. Biochar from oil palm shells experienced the highest mass loss of 32.02%, but produced the highest volatile substances of 27.74%. Meanwhile, biochar from palm oil reservoirs had the highest moisture and ash content, 6.37% and 15.41%, respectively. The results of this study indicate that biochar from corn cobs, oil palm shells and oil palm empty tanks can be used as a soil amendment for soil fertility.

Keywords: *biomass, degradation, characterization, pyrolysis*

PENDAHULUAN

Karakterisasi fisikokimia merupakan konsep dasar produksi biochar sebagai bahan pembenah tanah (Gul *et al.*, 2015). Informasi terperinci tentang proses produksi adalah faktor kunci dalam mendefinisikan penggunaan biochar yang sesuai (Jindo *et al.*, 2014). Hal ini berkaitan dengan sifat fisikokimia biochar yang dihasilkan selama pirolisis. Karena dapat menyebabkan perubahan nutrisi tanah dan ketersediaan karbon, menyediakan perlindungan fisik mikroorganisme terhadap predator sehingga dapat mengubah keragaman mikroba dan jasa ekosistem tanah (Lehmann *et al.*, 2011). Struktur biochar dengan luas permukaan yang tinggi memberikan perlindungan bagi bakteri, dan mempengaruhi pengikatan kation dan anion nutrisi yang penting (Rawat *et al.*, 2019). Selain itu struktur molekul biochar menunjukkan tingkat stabilitas kimia dan perlekatan mikroba yang tinggi. Efek perbaikan biochar terhadap sifat tanah berdampak langsung terhadap pertumbuhan tanaman karena ketersediaan udara dan air di zona perakaran. Biochar yang dihasilkan oleh pirolisis suhu rendah, dicirikan oleh kadar volatil yang tinggi dengan kandungan substrat yang mudah terurai, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman (Robertson *et al.*, 2012; Mukherjee & Zimmerman, 2013), sedangkan pirolisis menggunakan suhu tinggi menghasilkan biochar dengan luas permukaan dan kandungan aromatik-karbon yang tinggi. Hal ini meningkatkan kemampuan serapan dan bersifat rekalsitran yang sesuai untuk bioremediasi dan penyerapan karbon (Lehmann, 2007).

Jenis bahan baku adalah faktor penting lain yang menentukan aplikasi biochar dan efeknya di dalam tanah, karena sifat-sifatnya dipengaruhi oleh biomasanya (Jindo *et al.*, 2014). Studi tentang struktur biomassa mengungkapkan bahwa selulosa, hemiselulosa dan lignin adalah bahan utama biomassa yang mempengaruhi hasil produk pirolisis (Tripathi, Sahu & Ganesan 2016). Kandungan lignin dan selulosa memiliki pengaruh terhadap pembentukan biochar (Kloss *et al.*, 2012), karena bertanggung jawab terhadap produk yang mudah menguap dan lignin untuk hasil arang (Yang *et al.*, 2006).

Potensi bahan baku biochar yang sangat besar ini memberikan peluang perbaikan lahan terutama di lahan kering. Hal ini berkaitan dengan peran biochar yang dapat meningkatkan retensi air dan unsur hara. Karakter fisik biochar seperti luas permukaan, bentuk, struktur dan porositas, berperan penting terhadap retensi air tanah (Andrenelli *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2017), retensi hara dan aerasi, (Githinji, 2014, Drahansky *et al.*, 2016). Selain itu, biochar dapat memperbaiki sifat kimia tanah seperti pH tanah (Agegnehu *et al.*, 2017) dan KTK yang berkaitan dengan retensi hara (Novak *et al.*, 2009), sehingga efisien dalam penggunaan nitrogen

(Rogovska *et al.*, 2014) dan berkontribusi terhadap aktivitas mikroba, (Githinji, 2014, Drahanisky *et al.*, 2016).

BAHAN DAN METODE

Bahan yang digunakan adalah cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit diperoleh dari Perkebunan kelapa sawit PTPN Nusantara XIV Bauru dan tongkol jagung diperoleh dari kebun milik petani di Desa Parenring Kecamatan Lilirilau Kabupaten Soppeng, gas elpiji (Pertamina), metylen biru (Arkitos), kertas whatman 42 (90 mm GE Healthcare), aluminium foil, aquades (Waterone PT Jayamas Medica Industri Indonesia).

Tahapan karakterisasi biochar meliputi tahap pembuatan biochar dan tahap analisis untuk mengkarakterisasi sifat kimia. Pembuatan biochar meliputi: pencacahan, penjemuran, pembakaran, penggilingan dan pengayakan.

Metode analisis komponen kimia biochar terdiri atas pH, KTK, C-Organik, N_{total}, K_{dd} dan P tersedia merujuk pada USDA, (2004) dan (FAO, 2008) sebagaimana diuraikan sebagai berikut: pH dianalisis menggunakan metode potensiometrik (H₂O); Kapasitas tukar kation (KTK) ditentukan dengan ekstraksi Amonium acetat 1 (pada pH 7); C-organik diukur menggunakan metode Walkley dan Black; Nitrogen dengan metode Kjeldahl; K-tersedia dengan metode ekstraksi NH₄OAc, dan Posfat tersedia dengan metode Olsen.

Analisis proximat dilakukan dengan mengikuti prosedur (Domingues *et al.*, 2017) yang menggunakan metode sesuai prosedur standar ASTM (American Society for Testing and Materials) D-1762-84 (ASTM, 2007). Parameter yang diuji adalah bahan mudah menguap (*volatil mater*), kelembaban (%), kadar abu (%) dan konsentrasi karbon tetap (%).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komponen kimia biochar

Komponen kimia yang dihasilkan oleh masing-masing biochar merujuk pada FAO, (2008). Biochar dari cangkang dan tandan kosong kelapa sawit serta tongkol jagung memiliki pH tergolong alkali, masing-masing 7,3, 7,2 dan 7,3 dengan kapasitas tukar kation (KTK) tergolong sangat tinggi (>40 me/100 g). Kandungan C-organik semua biochar, tergolong sangat tinggi, karena melebihi dari 5%, dan rasio C/N yang sangat tinggi (>20). Akan tetapi, biochar tongkol jagung memiliki kandungan C-organik tertinggi dibandingkan biochar cangkang kelapa sawit dan tandan kosong kelapa sawit. Kandungan N-total pada semua biochar

tergolong sangat tinggi melebihi 0.75%. Biochar dari cangkang kelapa sawit memiliki kandungan hara makro (N, P, K) tertinggi dari semua biochar (Tabel 1).

Tabel 1. Sifat kimia biochar dari cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit, dan tongkol jagung hasil pirolisis pada kisaran suhu 300-400°C

| Sifat kimia | Biochar | | |
|-----------------|-----------------------|----------------------------|----------------|
| | Cangkang kelapa sawit | Tandan kosong kelapa sawit | Tongkol jagung |
| pH | 7,3 | 7,2 | 7,3 |
| KTK (cmol / kg) | 50,52 | 52,36 | 56,84 |
| C-Organik (%) | 65,84 | 59,85 | 70,25 |
| N-total (%) | 1,16 | 1,08 | 1,15 |
| C/N (%) | 56,76 | 55,42 | 61,09 |

Hasil analisis Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Fakultas Pertanian UNHAS, 2019.

Hasil penelitian ini mengkonfirmasi pH masing-masing biochar bersifat alkali dengan kategori basa sedang (cangkang kelapa sawit=7,3, tandan kosong kelapa sawit = 7,2, tongkol jagung = 7,3). Hasil ini menunjukkan bahwa proses pirolisis mampu mengurai kandungan selulosa dan hemiselulosa dari ketiga biomassa. Karena penguraian selulosa dan hemiselulosa menghasilkan zat volatil yang mengatur pH biochar. Hal ini menyebabkan terbentuknya gugus fungsi karboksil pada permukaan biochar. Biochar umumnya bersifat alkali dengan pH antara 7,1-10,5 (Inyang et al., 2010; Lehmann *et al.*, 2011) yang disebabkan oleh adanya gugus karboksil dan oksigen serta kandungan karbonat (Cheng *et al.*, 2006; Yuan *et al.*, 2011) (Mukome *et al.*, 2013) melalui penguraian selulosa dan hemiselulosa menjadi asam organik dan fenolik yang terjadi pada saat pirolisis dikisaran suhu 200-300°C (Yu *et al.*, 2014).

Nilai KTK biochar yang dihasilkan melalui pirolisis 300-400°C berkisar antara 50,52-56,88 cmol / kg, masing-masing cangkang kelapa sawit 50,52 cmol / kg, tandan kosong kelapa sawit 52,36 cmol / kg dan tongkol jagung 56,84 cmol / kg. Hasil ini jauh lebih besar dibandingkan hasil penelitian Teh (2016) yang melaporkan KTK biochar tandan kosong kelapa sawit sebesar 21,5 cmol / kg. Mekanisme perubahan nilai KTK pada biochar dipengaruhi oleh sifat dan distribusi kelompok fungsional yang mengandung O pada permukaan biochar (Banik *et al.*, 2018), seperti asam fenolik (O-H) dan karboksil (C=O) (Mitchell et al., 2013).

Kandungan C-organik yang dihasilkan ketiga jenis biochar pada penelitian ini tergolong sangat tinggi. Meskipun demikian C-organik yang terkandung dalam biochar tongkol jagung lebih tinggi dari yang lainnya. C-organik total yang tersimpan dalam biochar dapat mencapai 50% tergantung dengan bahan baku dan proses pembakaran (Sohi et al., 2010;

Mukome *et al.*, 2013). Kandungan C-organik yang tinggi pada biochar, kemungkinannya disebabkan oleh sejumlah residu tanaman organik seperti selulosa. Selulosa yang masih terdapat didalam biochar mengandung 37% karbon dan 43-45% mineral anorganik. Karbonisasi ditandai dengan degradasi atom-atom non karbon, sehingga meningkatkan kandungan C (Verheijen *et al.*, 2010).

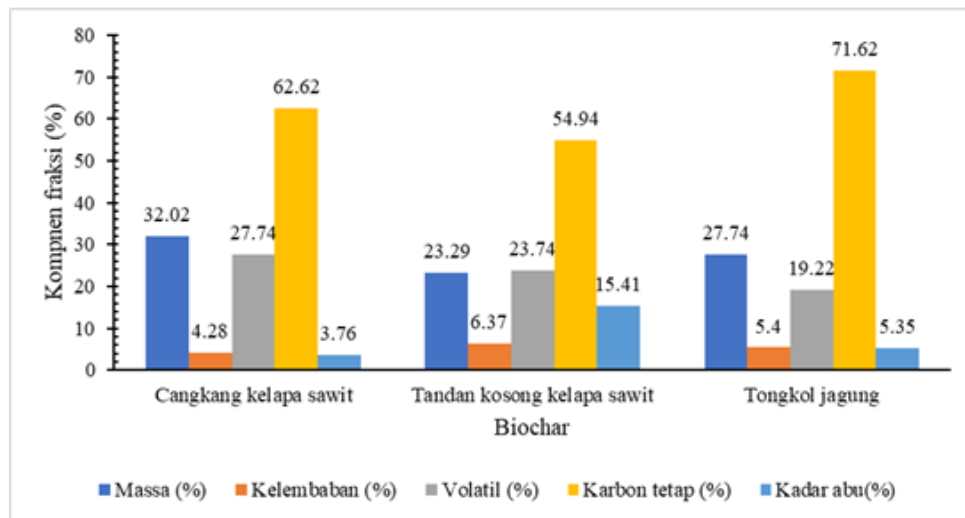
Adapun kandungan N-total yang dihasilkan oleh masing-masing biochar tergolong sangat tinggi (>0,75%), yakni cangkang kelapa sawit (1,16%), tandan kosong kelapa sawit (1,08%) dan tongkol jagung (1,15%). Hasil ini berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya. Kandungan N-total biochar tongkol jagung 0,6% -0,94% (pirolisis 400°C), (Tipayawong *et al.*, 2018; Yuan *et al.*, 2018), biochar cangkang kelapa sawit 0,96% (Santi, 2017), tandan kosong kelapa sawit 1,07% (Kresnawaty *et al.*, 2017). Biochar hasil pirolisis pada suhu 400°C memiliki kandungan nitrogen yang tinggi (Meng *et al.*, 2013).

Rasio C/N merupakan parameter kimia biochar yang penting untuk penggunaannya sebagai am&emen tanah. C/N biochar yang dihasilkan pada penelitian ini tergolong sangat tinggi >20% (cangkang kelapa sawit=56,76%, tandan kosong kelapa sawit = 55,42% dan tongkol jagung = 61,09%). Tingginya nilai C/N disebabkan oleh hilangnya nitrogen selama pirolisis (Yuan *et al.*, 2011). Hal yang sama terjadi pada penelitian sebelumnya. C/N dari biochar cangkang kelapa sawit 31,6% (Santi, 2017), tandan kosong kelapa sawit yakni 57,37% (Teh, 2016), tongkol jagung 76,4%-106,5% (Gupta *et al.*, 2018; Tipayawong *et al.*, 2018).

Jenis dan persentase fraksi dalam biochar

Biochar dari cangkang kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit dan tongkol jagung yang dihasilkan pada suhu pembakaran 300-400°C memberikan hasil yang berbeda terhadap massa yang hilang, kelembaban, zat volatil, karbon tetap dan kadar abu. Biochar cangkang kelapa sawit, mengalami kehilangan massa terbesar pada saat pirolisis, yakni 32,02%, disusul oleh tongkol jagung 27,74% dan tandan kosong kelapa sawit 23,29%. Kehilangan massa ini menyebabkan rendahnya kelembaban pada masing biochar. Meskipun demikian biochar dari cangkang kelapa sawit memiliki bahan yang lebih sulit terurai pada kisaran suhu 300-400°C. Ini terlihat pada kandungan volatil yang lebih tinggi yaitu sebesar 27,74% dibandingkan dengan kedua jenis biochar lainnya. Biochar tongkol jagung memiliki bahan yang lebih muda terurai oleh suhu pirolisis 300-400°C. Hal ini terlihat dari kandungan karbon yang lebih tinggi 71,62% dengan zat volatil terendah yakni 19,22%. Biochar dari tandan kosong kelapa sawit memiliki stabilitas thermal lebih tinggi dibandingkan dengan kedua biochar lainnya, karena

memiliki kehilangan massa terkecil 23,29% dengan kandungan abu yang lebih tinggi 15,41% dibandingkan biochar dari cangkang kelapa sawit dan tongkol jagung (Gambar 1).



Gambar 1. Persentase fraksi pada biochar dari cangkang dan tandan kosong kelapa sawit serta tongkol jagung hasil pirolisis pada kisaran suhu 300-400°C

Hasil proksimat menunjukkan bahwa suhu pirolisis yang digunakan menyebabkan kehilangan massa pada biochar cangkang kelapa sawit sebesar 32,2% tandan kosong kelapa sawit sebesar 23,29% dan tongkol jagung 27,74%. Hasil biochar tongkol jagung, rata-rata maksimum 33,96% sama dengan yang lain, pada suhu 400°C (Gupta *et al.*, 2018). Penurunan hasil biochar disebabkan oleh degradasi bahan organik. Dimana pada tahap awal terjadi berat biomassa akan hilang karena dehidrasi dan kehilangan air. Ini terjadi pada suhu pirolisis lebih tinggi 250°C. Setelah itu, terjadi pemecahan molekul yang ada pada arang menjadi molekul yang lebih kecil dalam bentuk gas dan cairan dalam bentuk volatil yang mudah menguap (uap air, CO₂, CO, H₂, CH₄ dan hidrokarbon yang lebih berat (Antal & Grønli, 2003; Alias *et al.*, 2014; Sun & Lu, 2014; Lee *et al.*, 2017; Gupta *et al.*, 2018).

Selain itu, kandungan lignin dan selulosa pada setiap bahan baku mempengaruhi pembentukan biochar (Kloss *et al.*, 2012) dimana kandungan lignin yang tinggi menghasilkan pembentukan arang yang lebih tinggi (Demirbas, 2004; Shariff *et al.*, 2016). Dengan merujuk pada laporan tersebut, maka cangkang kelapa sawit menghasilkan biochar lebih besar dibandingkan tandan kosong kelapa sawit dan tongkol jagung. Namun dalam penelitian ini justru biochar cangkang kelapa sawit kehilangan massa lebih besar dibandingkan tandan kosong kelapa sawit dan tongkol jagung. Kehilangan massa menunjukkan tingkat stabilitas termal (Domingues *et al.*, 2017).

Biomassa dari limbah pertanian memiliki kadar air dan kadar abu yang tinggi (Jafri *et al.*, 2018). Persentase kelembaban biomassa sebelum menjadi biochar cangkang kelapa sawit

15%, tandankosong kelapa sawit 45% dan tongkol jagung 14% (Tajalli, 2015). Namun setelah pirolisis pada suhu 300-400°C, kelembaban ketiga jenis biomassa ini mengalami penurunan. Biochar dari tandan kosong kelapa sawit memiliki kelembaban yang lebih tinggi yaitu sebesar 6,37% dibandingkan dengan tongkol jagung 5,4 % dan cangkang kelapa sawit 4,28%. Kelembaban biochar dari cangkang kelapa sawit berbeda dengan hasil karakterisasi Kong *et al.*, (2013) sebesar 1,47%. Demikian pula dengan kelembaban biochar dari tongkol jagung berbeda dengan Tippayawong *et al.*, (2018), yakni 4,1% dan Ogunjobi & Lajide (2013), yakni 3,81% dan 6,43%. Biochar merupakan arang hasil pembakaran secara anerob menggunakan suhu tinggi untuk menghilangkan kandungan air (Tomczyk *et al.*, 2020).

Kandungan volatil tertinggi dihasilkan pada biochar cangkang kelapa sawit sebesar 27,74% lebih besar dibandingkan tandan kosong kelapa sawit 23,74% dan tongkol jagung sebesar 19,22%. Zat volatile dipengaruhi oleh suhu pirolisis dan jenis bahan baku (Tomczyk *et al.*, 2020). Tinggi rendahnya zat volatil dalam biochar ditentukan oleh senyawa-senyawa selain air, abu dan karbon, yakni komponen kimia zat ekstraktif dari biomasanya, dimana penguapan zat volatile terjadi sebelum berlangsungnya oksidasi karbon. Ini mempengaruhi struktur biochar, karena terjadi penghilangan, pembentukan dan pelepasan volatile, pada saat pirolisis (Shaaban *et al.*, 2014). Peningkatan suhu meretakkan fraksi yang mudah menguap menjadi cairan dan gas berbobot molekul rendah (Ronsse *et al.*, 2013), sehingga terjadi penurunan kadar volatile (Tag *et al.*, 2016). Temperatur pirolisis di bawah <350°C menghasilkan biochar dengan zat volatil yang diserap terdiri dari aldehid rantai karbon pendek, sedangkan suhu pirolisis >350°C, menghasilkan biochar yang didominasi senyawa aromatik dari hidrokarbon dengan rantai karbon yang lebih panjang. Senyawa volatil mudah terurai, dan dimanfaatkan sebagai substrat oleh mikroorganisme dalam tanah dan sumber hara bagi tanaman (Jindo *et al.*, 2014), sehingga mempengaruhi pertumbuhan tanaman (Denyes *et al.*, 2014).

Karbon dari biochar berkisar antara 36-94% tergantung dari jenis bahan baku. Hasil penelitian menghasilkan kandungan karbon tetap tertinggi pada biochar dari tongkol jagung, dibandingkan dari cangkang kelapa sawit sebesar 62,62% dan tandan kosong kelapa sawit 54,94%. Biomassa cangkang kelapa sawit mengandung karbon tetap sebesar 1,4% (Kim *et al.*, 2010). Peningkatan kandungan karbon berkisar antara 62,2 hingga 92,4% seiring dengan peningkatan suhu (Domingues *et al.*, 2017), dimana struktur karbon akan terkondensasi dalam biochar (Lehmann & Joseph, 2009). Peningkatan kandungan karbon dikaitkan dengan hilangnya gugus fungsi permukaan -OH sebagai akibat dehidrasi (Zielińska *et al.*, 2015).

Perbedaan kandungan karbon tetap biochar tergantung pada kadar abu dan biomass itu sendiri (Tag *et al.*, 2016).

Biochar terdiri dari unsur-unsur seperti karbon, hidrogen, belerang, oksigen, dan nitrogen serta mineral dalam fraksi abu (Rawat *et al.*, 2019) dan tidak terbakar pada proses pirolisis serta tidak mengandung unsur karbon. Pirolisis biomassa hingga berat konstan, menghasilkan kadar abu biochar yang sebanding dengan kadar abu dalam biomassa. Ini konsisten dengan penelitian ini, dimana kandungan abu terbanyak biochar dari tandan kosong kelapa sawit sebesar 14,41% dibandingkan dengan tongkol jagung 5,35% dan cangkang kelapa sawit 3,76%. Merujuk pada laporan Pointner *et al.*, (2014), bahwa biomassa dari tandan kosong kelapa sawit mengandung kadar abu sebanyak 6%, cangkang kelapa sawit memiliki kadar abu sebanyak 2,5%, dan tongkol jagung sebanyak 2,88%. Kandungan abu biochar tongkol jagung pada pirolisis 450°C, berkisar antara 9,77-9,80% (Ogunjobi & Lajide, 2013). Kandungan abu yang rendah menunjukkan kandungan nutrisi yang rendah pada biochar (Domingues *et al.*, 2017). Namun demikian kandungan abu yang lebih rendah membuat biochar dapat menerima transportasi dan penggabungan ke dalam tanah, karena ada lebih sedikit kerugian akibat angin (Mukome *et al.*, 2013).

KESIMPULAN

Ketiga jenis biochar memiliki pH alkalin dan KTK Tinggi. Zat volatile yang tinggi sehingga memiliki kandungan N total yang tinggi. Pirolisis 300-400°C menghasilkan kandungan C-organic maupun karbon tetap >50%. Berdasarkan pada komposisi kimia dan fraksi, ketiga jenis biochar cocok untuk dijadikan sebagai amandemen tanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak LPDP yang telah membiayai penelitian ini. Laboratorium Kimia dan Kesuburan Tanah Unhas atas fasilitas dalam pengujian komposisi kimia dan Laboratorium Mineral Jurusan Geologi Fakultas Teknik Unhas atas fasilitas pegujian proximat.

DAFTAR PUSTAKA

- Agegnehu, G., Srivastava, A. K., & Bird, M. I. (2017). The role of biochar and biochar-compost in improving soil quality and crop performance: A review. *Applied Soil Ecology*, 119(October 2016), 156–170. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.06.008>
- Alias, N. B., Ibrahim, N., & Hamid, M. K. A. (2014). Pyrolysis of empty fruit bunch by thermogravimetric analysis. *Energy Procedia*, 61, 2532–2536.

<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.039>

- Andrenelli, M. C., Maienza, A., Genesio, L., Miglietta, F., Pellegrini, S., Vaccari, F. P., & Vignozzi, N. (2016). Field application of pelletized biochar: Short term effect on the hydrological properties of a silty clay loam soil. *Agricultural Water Management*, 163, 190–196. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2015.09.017>
- Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 42(8), 1619–1640. <https://doi.org/10.1021/ie0207919>
- Are, S. . (2019). Biochar and Soil Physical Health. *Intechopen*, i, 13. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/57353>
- ASTM, A. S. for T. and M. (2007). *Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Char*. ASTM International. <https://www.scribd.com/document/334272369/ASTM-D1762-84-Chemical-Analysis-of-Wood-Charcoal#download>
- Banik, C., Lawrinenko, M., Bakshi, S., & Laird, D. A. (2018). Impact of Pyrolysis Temperature and Feedstock on Surface Charge and Functional Group Chemistry of Biochars. *Journal of Environmental Quality*, 47(3), 452–461. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.11.0432>
- Cheng, C. H., Lehmann, J., Thies, J. E., Burton, S. D., & Engelhard, M. H. (2006). Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry*, 37(11), 1477–1488. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2006.06.022>
- Demirbas, A. (2004). Effects of temperature and particle size on bio-char yield from pyrolysis of agricultural residues. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 72(2), 243–248. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2004.07.003>
- Denyes, M. J., Parisien, M. A., Rutter, A., & Zeeb, B. A. (2014). *Physical , Chemical and Biological Characterization of Six Biochars Produced for the Remediation of Contaminated Sites 2 . Test Category A : Basic Biochar Utility Properties*. November, 1–12. <https://doi.org/10.3791/52183>
- Domingues, R. R., Trugilho, P. F., Silva, C. A., A, I. C. N., Melo, C. A., Magriotis, Z. M., Sa, M. A., & Melo, D. (2017). *Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits*. 1–19.
- FAO. (2008). Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 2008. In M. R. Motsara (Ed.), *Fao Fertilizer and Plant Nutrition Bulletin 19*. Electronic Publishing Policy and Support Branch Communication Division FAO. <http://www.fao.org/3/i0131e/i0131e.pdf>
- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., & Deng, H. (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 206, 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015>
- Gupta, G. K., Ram, M., Bala, R., Kapur, M., & Mondal, M. K. (2018). Pyrolysis of chemically treated corncob for biochar production and its application in Cr(VI) removal. *Environmental Progress and Sustainable Energy*, 37(5), 1606–1617. <https://doi.org/10.1002/ep.12838>

- Inyang, M., Gao, B., Pullammanappallil, P., Ding, W., & Zimmerman, A. R. (2010). Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse. *Bioresource Technology*, *101*(22), 8868–8872. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.088>
- Irma Kresnawaty, Soekarno Mismana Putra, Asmini Budiani, T. D. (2017). Hayati Dan Asap Cair. *Jurnal Penelitian Pascapanen Pertanian*, *14*(3), 171–179.
- Jafri, N., Wong, W. Y., Doshi, V., Yoon, L. W., & Cheah, K. H. (2018). A review on production and characterization of biochars for application in direct carbon fuel cells. *Process Safety and Environmental Protection*, *118*, 152–166. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.06.036>
- Jindo, K., Mizumoto, H., Sawada, Y., Sanchez-Monedero, M. A., & Sonoki, T. (2014). Physical and chemical characterization of biochars derived from different agricultural residues. *Biogeosciences*, *11*(23), 6613–6621. <https://doi.org/10.5194/bg-11-6613-2014>
- Kim, S. J., Jung, S. H., & Kim, J. S. (2010). Fast pyrolysis of palm kernel shells: Influence of operation parameters on the bio-oil yield and the yield of phenol and phenolic compounds. *Bioresource Technology*, *101*(23), 9294–9300. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.06.110>
- Kloss, S., Zehetner, F., Dellantonio, A., Hamid, R., Ottner, F., Liedtke, V., Schwanninger, M., Gerzabek, M. H., & Soja, G. (2012). Characterization of Slow Pyrolysis Biochars: Effects of Feedstocks and Pyrolysis Temperature on Biochar Properties. *Journal of Environmental Quality*, *41*(4), 990–1000. <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0070>
- Kong, S. H., Loh, S. K., Bachmann, R. T., Choo, Y. M., Salimon, J., & Abdul Rahim, S. (2013). Production and physico-chemical characterization of biochar from palm kernel shell. *AIP Conference Proceedings*, *1571*(December 2013), 749–752. <https://doi.org/10.1063/1.4858744>
- Lee, X. J., Lee, L. Y., Gan, S., Thangalazhy-Gopakumar, S., & Ng, H. K. (2017). Biochar potential evaluation of palm oil wastes through slow pyrolysis: Thermochemical characterization and pyrolytic kinetic studies. *Bioresource Technology*, *236*, 155–163. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.105>
- Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, *5*(7), 381–387. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2)
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management : An Introduction*. *1*, 1–12.
- Lehmann, J., Rillig, M. C., Thies, J., Masiello, C. A., Hockaday, W. C., & Crowley, D. (2011). Biochar effects on soil biota - A review. *Soil Biology and Biochemistry*, *43*(9), 1812–1836. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>
- Liu, G., Chen, L., Jiang, Z., Zheng, H., Dai, Y., Luo, X., & Wang, Z. (2017). Science of the Total Environment Aging impacts of low molecular weight organic acids (LMWOAs) on furfural production residue-derived biochars : Porosity , functional properties , and inorganic minerals. *Science of the Total Environment*, *607–608*, 1428–1436. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.046>
- Meng, J., Wang, L., Liu, X., Wu, J., Brookes, P. C., & Xu, J. (2013). Physicochemical properties of biochar produced from aerobically composted swine manure and its potential

- use as an environmental amendment. *Bioresource Technology*, 142, 641–646. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.05.086>
- Mitchell, P. J., Dalley, T. S. L., & Helleur, R. J. (2013). Preliminary laboratory production and characterization of biochars from lignocellulosic municipal waste. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 99, 71–78. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.10.025>
- Mukherjee, A., & Zimmerman, A. R. (2013). Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory-produced biochars and biochar-soil mixtures. *Geoderma*, 193–194. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.10.002>
- Mukome, F. N. D., Zhang, X., Silva, L. C. R., Six, J., & Parikh, S. J. (2013). Use of chemical and physical characteristics to investigate trends in biochar feedstocks. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(9), 2196–2204. <https://doi.org/10.1021/jf3049142>
- Novak, J. M., Busscher, W. J., Laird, D. L., Ahmedna, M., Watts, D. W., & Niandou, M. a. S. (2009). Impact of Biochar Amendment on Fertility of a Southeastern Coastal Plain Soil. *Soil Science*, 174(2), 105–112. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3181981d9a>
- Ogunjobi, J. K., & Lajide, L. (2013). *Characterisation of Bio-Oil and Bio-Char from Slow-Pyrolysed Nigerian Yellow and White Corn Cobs*. 4, 77–84.
- Pointner, M., Kuttner, P., Obrlik, T., Jäger, A., & Kahr, H. (2014). Composition of corncobs as a substrate for fermentation of biofuels. *Agronomy Research*, 12(2), 391–396.
- Rawat, J., Saxena, J., & Sanwal, P. (2019). *Biochar : A Sustainable Approach for Improving Plant Growth and Soil Properties*. <https://doi.org/DOI:10.5772/intechopen.82151>
- Robertson, S. J., Michael Rutherford, P., López-Gutiérrez, J. C., & Massicotte, H. B. (2012). Biochar enhances seedling growth and alters root symbioses and properties of sub-boreal forest soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 92(2), 329–340. <https://doi.org/10.4141/CJSS2011-066>
- Rogovska, N., Laird, D. A., Rathke, S. J., & Karlen, D. L. (2014). Biochar impact on Midwestern Mollisols and maize nutrient availability. *Geoderma*, 230–231, 340–347. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.04.009>
- Ronsse, F., van Hecke, S., Dickinson, D., & Prins, W. (2013). Production and characterization of slow pyrolysis biochar: Influence of feedstock type and pyrolysis conditions. *GCB Bioenergy*, 5(2), 104–115. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12018>
- Santi, L. P. (2017). Pemanfaatan Biochar Asal Cangkang Kelapa Sawit untuk Meningkatkan Serapan Hara dan Sekuestrasi Karbon pada Media Tanah Lithic Hapludults di Pembibitan Kelapa Sawit. *Pemanfaatan Biochar Asal Cangkang Kelapa Sawit Untuk Meningkatkan Serapan Hara Dan Sekuestrasi Karbon Pada Media Tanah Lithic Hapludults Di Pembibitan Kelapa Sawit*, 41(1), 9–16. <https://doi.org/10.2017/jti.v41i1.5981>
- Shaaban, A., Se, S. M., Dimin, M. F., Juoi, J. M., Mohd Husin, M. H., & Mitan, N. M. M. (2014). Influence of heating temperature and holding time on biochars derived from rubber wood sawdust via slow pyrolysis. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 107, 31–39. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.01.021>

- Shariff, A., Aziz, N. S. M., Ismail, N. I., & Abdullah, N. (2016). Corn cob as a potential feedstock for slow pyrolysis of biomass. *Journal of Physical Science*, 27(2), 123–137. <https://doi.org/10.21315/jps2016.27.2.9>
- Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)05002-9](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)05002-9)
- Sun, F., & Lu, S. (2014). Biochars improve aggregate stability, water retention, and pore-space properties of clayey soil. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 177(1), 26–33. <https://doi.org/10.1002/jpln.201200639>
- Tag, A. T., Duman, G., Ucar, S., & Yanik, J. (2016). Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 120, 200–206. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.05.006>
- Tajalli, A. (2015). *Panduan Penilaian Potensi Biomassa Sebagai Sumber Energi Alternatif di Indonesia*. Penabulu Alliance. https://www.academia.edu/36540232/Panduan_Penilaian_Potensi_Biomassa_sebagai_Sumber_Energi_Alternatif_di_Indonesia_1_
- Teh, C. B. S. (2016). Availability, use, and removal of oil palm biomass in Indonesia. *Report Prepared for the International Council on Clean Transportation*, 1–39. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4697.4485>
- Tippayawong, N., Rerkkriangkrai, P., Aggarangsi, P., & Pattiya, A. (2018). Characterization of biochar from pyrolysis of corn residues in a semi-continuous carbonizer. *Chemical Engineering Transactions*, 70, 1387–1392. <https://doi.org/10.3303/CET1870232>
- Tomczyk, A., Sokołowska, Z., & Boguta, P. (2020). Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, 19(1), 191–215. <https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
- Tripathi, M., Sahu, J. N., & Ganesan, P. (2016). Effect of process parameters on production of biochar from biomass waste through pyrolysis: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, 467–481. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.10.122>
- USDA. (2004). Soil Survey Laboratory Methods Manual. *Soil Survey Investigations Report*, 42(42), 700. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd1026807.pdf
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, A. ., Velde, V. D. ., & Diafas, I. (2010). *Biochar Application to Soils A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions*. <https://doi.org/10.2788/472>
- Yang, H., Yang, R., Chen, H., Zheng, C., Lee, D. H., & Liang, D. T. (2006). In-Depth Investigation of Biomass Pyrolysis Based on Three Major Components: Hemicellulose, Cellulose and Lignin. *Energy & Fuels*, 20, 388–393. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.063>
- Yu, H., Zhang, Z., Li, Z., & Chen, D. (2014). Characteristics of tar formation during cellulose, hemicellulose and lignin gasification. *Fuel*, 118, 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2013.10.080>
- Yuan, J. H., Xu, R. K., & Zhang, H. (2011). The forms of alkalis in the biochar produced from

crop residues at different temperatures. *Bioresource Technology*, 102(3), 3488–3497. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.018>

Yuan, S., Tan, Z., & Huang, Q. (2018). Migration and transformation mechanism of nitrogen in the biomass – biochar – plant transport process. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 85(January), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.01.008>

Zielińska, A., Oleszczuk, P., Charmas, B., Skubiszewska-Zięba, J., & Pasieczna-Patkowska, S. (2015). Effect of sewage sludge properties on the biochar characteristic. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 112, 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.01.025>