

**PENGARUH BIOCHAR DAN BENTONIT-TERAKTIVASI ASAM
TERHADAP SIFAT KIMIA TANAH LEMPUNG LIAT BERPASIR
BANGKALAN**

*(Effect of Biochar and Acid Activated-Bentonite on Sandy Clay Loam Soil
Bangkalan)*

Fahmi Arief Rahman^{1*}, Slamet Supriyadi¹, Ronny Mulyawan²

¹**Staf Pengajar Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian,
Universitas Trunojoyo Madura**

²**Staf Pengajar Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian,
Universitas Lambung Mangkurat**

***Penulis korespondensi: fahmi.rahman@trunojoyo.ac.id**

ABSTRACT

Sandy clay loam soil in Bangkalan is poor soil because of low nutrients, organic matter, bases, cation exchange capacity, water and nutrient retention. Application of biochar and acid-activated bentonite material (AAB) on this soil will increase soil quality. The objective of this study was to investigate the effect of application of corncob biochar mixed with, AAB on soil chemical characteristics of sandy clay loam. Biochar made from corncob with Kon-Tiki method, bentonite was activated with physical (200 °C) and chemical (1N H₂SO₄) method. The experiment was arranged on a Completely Randomized Design consisting two factors, namely biochar and AAB. Both biochar and ABB were applied at rates of 0, 5, 10 ton ha⁻¹ and each treatment was replicated for three times. Soil characteristics that were examined were pH (H₂O) and pH (KCl), Organic carbon, CEC and exchangeable bases (exch K, exch Na, exch Ca and exch Mg). Data were analyzed by ANOVA and difference among means was tested with Tukey. The results showed that the combination of biochar and AAB significantly increased the pH (H₂O), Exchangeable K, and Na respectively 8,50%, 73,91%, and 69,23%.. Application of biochar significantly increased 42,86% soil organic carbon content while AAB had a significant effect on increasing 20,92% CEC of the soil.

Keywords: *Amelioration, Soil chemical, Sandy soil*

PENDAHULUAN

Tanah berpasir memiliki permeabilitas berlebihan, retensi air dan kandungan hara yang rendah

(Szegi *et al.*, 2005), sehingga mudah kering dan ketersediaan hara rendah bagi tanaman (Farrington dan Campbell, 1970), miskin bahan

organik dan mineral koloid. Hal ini menunjukkan bahwa tanah ini memiliki luas permukaan aktif yang kecil dan kapasitas tukar kation (KTK) rendah (Ivanic *et al.*, 2015). Salah satu cara untuk meningkatkan kualitas tanah adalah menambahkan bahan amelioran dengan karakteristik spesifik dan memiliki efek relatif lama atau sulit didekomposisi seperti biochar dan bentonit.

Biochar merupakan amelioran yang mengandung senyawa aromatik bersifat rekalsitran yang dapat menjaga stabilitas karbon tanah (Glaser *et al.*, 2003; Hammond *et al.*, 2007). Biochar juga dapat diperoleh melalui proses pembakaran tidak sempurna (*pyrolysis*) dari limbah-limbah pertanian seperti sekam padi, batang dan daun jagung, serta tongkol jagung. Limbah pertanian ini banyak ditemukan di sentra-sentra pertanian, khususnya di Bangkalan Madura cenderung tidak dimanfaatkan.

Biochar merupakan bahan amelioran tanah yang dapat meningkatkan kualitas kimia tanah diantaranya adalah kandungan karbon organik tanah, pH, KTK (Chan *et al.*, 2008; Ismail *et al.*,

2011) dan meningkatkan kandungan hara tanah berpasir. Namun perbedaan konsentrasi hara yang ada dipengaruhi oleh bahan asal dan proses pirolisis (Singh *et al.*, 2010; Yao *et al.*, 2012). Pemberian 20 ton ha^{-1} biochar dari bahan asal jerami padi, TKS, kulit durian dan kotoran sapi dapat meningkatkan C-organik tanah 0,05-0,2% dan KTK 0,98-2,93 Cmol kg^{-1} (Putri *et al.*, 2017), bahkan penambahan 4,8-12 ton ha^{-1} biochar dapat meningkatkan KTK 6,13-29,68 % (Abewa *et al.*, 2014).

Bahan amelioran lain yang relatif resisten adalah Ca-bentonit. Bahan ini dapat meningkatkan kelembaban, pH, KTK, ketersediaan hara N, P, Ca dan Mg tanah (Sacchi, 2010). Aplikasi 2,5 ton ha^{-1} Ca-bentonit selama dua musim tanam dapat memperbaiki struktur, retensi air dan hara di tanah berpasir (Czaban *et al.*, 2013), serta meningkatkan biomassa tanaman dan mencegah kehilangan hara di tanah (Berthelsen *et al.*, 2005). Bentonite juga dapat meningkatkan jumlah mikroba fungsional di tanah berpasir (Zhang *et al.*, 2020). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh bahan amelioran berupa

biochar, bentonit dan kombinasinya terhadap karakteristik tanah lempung liat berpasir di Bangkalan.

BAHAN DAN METODE

Contoh tanah ruah (*bulk soil samples*) diambil secara komposit pada lapisan 30 cm teratas area tegalan di Tunjung, Bangkalan, Jawa Timur pada posisi koordinat 7°04'84" LS dan 112°78'75" BT. Tongkol jagung sebagai bahan baku biochar diperoleh dari petani di Tragah, Kabupaten Bangkalan dan bentonit diperoleh dari area tambang di Nglekok, Kabupaten Blitar, Jawa Timur. Percobaan dilakukan di rumah kaca Prodi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Trunojoyo Madura (UTM). Analisis kimia tanah, biochar, dan bentonit, berupa pH H₂O dan KCl (potensiometri), EC (konduktometri), N-total (Kjeldahl), C-organik (*Walkley and Black*), C/N (perhitungan), P tersedia (Olsen), P potensial (HCL 25%), KTK (*N NH₄OAC*, pH 7), basa-basa berupa K-dd, Na-dd, Ca-dd, dan Mg-dd (*N NH₄OAC*, pH 7) dan tekstur tanah (pipet). Penelitian dilakukan sejak Juli sampai Desember 2021.

Bahan utama penelitian ini meliputi tanah pucuk (*top soil*) lempung liat berpasir kering udara lolos saringan 2 mm, biochar, bentonit, dan bahan-bahan kimia. Biochar (B) dibuat dari limbah tongkol jagung dengan metode Kontiki dan bentonit teraktivasi asam (BTA) dengan metode fisik (200 °C) dan kimia (1 N H₂SO₄) (Moosa *et al.*, 2015). Percobaan rumah kaca dilakukan dalam RAL yang perlakuannya disusun berpola faktorial dengan ameliorasi biochar dan BTA sebagai perlakuan, masing-masing dengan tiga taraf yaitu 0, 5, dan 10 ton ha⁻¹ dan tiga ulangan. Amelioran dicampur dengan tanah sebagai media tanam diinkubasi dalam kondisi kadar air tanah pada kapasitas lapang selama empat minggu. Pada akhir masa percobaan dilakukan analisis tanah berupa pH-H₂O (potensiometri), C-organik (*Walkley and Black*), KTK (*N NH₄OAC*, pH 7), dan basa-basa berupa K-dd, Na-dd, Ca-dd, dan Mg-dd (*N NH₄OAC*, pH 7). Analisis data dilakukan dengan ANOVA terhadap semua parameter dan dilanjutkan dengan uji Tukey.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis tanah awal menunjukkan bahwa pada umumnya sifat tanah tergolong ke dalam kategori sangat rendah sampai dengan rendah, kecuali P tersedia yaitu sedang. Sedangkan BTA memiliki KTK lebih tinggi namun pH lebih masam, EC, C-organik dan basa-basa lebih rendah dari pada biochar (Tabel 1).

Tabel 1 menunjukkan bahwa sifat kimia tanah Tunjungan, Bangkalan, Jawa Timur cenderung pada kategori rendah. Tekstur tanah berpasir karena persentase butir pasir lebih dominan dibandingkan liat dan debu. Hal ini menunjukkan bahwa pada tanah tersebut perlu penambahan bahan pembenah tanah

agar sifat-sifat tanah dapat diperbaiki. Menurut Subrata (2013), pengaplikasian bahan pembenah tanah pada suatu lahan dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah. Analisis kimia dari BTA menunjukkan bahwa nilai KTK sebesar 59,34 cmol kg⁻¹. Hal tersebut menandakan bahwa pencucian dengan senyawa asam dapat meningkatkan serapan permukaan. Selanjutnya Zulkarnaen *et al.* (1990) menyebutkan bahwa pengaktifan bentonit dengan senyawa asam dapat mengoptimalkan kapasitas penyerapan. Pada biochar kandungan C Organik sebesar 28,79%. Hal ini menunjukkan bahwa biochar dapat menjadi sumber karbon yang dapat mempengaruhi fisikomia tanah terutama pada tanah berpasir.

Tabel 1. Hasil analisis awal terhadap contoh tanah, bentonit teraktivasi asam dan biochar

Parameter	Tanah	Bentonit	
		Teraktivasi Asam (BTA)	Biochar
pH (H ₂ O) (1:5)	6,23 ^{AM}	4,05	9,20
pH (KCl) (1:5)	4,70 ^M	2,88	8,60
EC (μS cm ⁻¹)	-	68,20	1181,00
N Total (%)	0,06 ^{SR}	-	-
C organik (%)	0,55 ^{SR}	1,3	75,30
C/N	9,00 ^R	-	-
KTK (cmol kg ⁻¹)	6,52 ^R	59,34	28,79
P tersedia (mg/kg)	13,07 ^S	-	-
K-dd (cmol kg ⁻¹)	0,10 ^R	0,12	29,63
Na-dd (cmol kg ⁻¹)	0,07 ^{SR}	0,22	2,47
Ca-dd (cmol kg ⁻¹)	4,57 ^R	12,12	22,78
Mg-dd (cmol kg ⁻¹)	1,28 ^S	3,59	3,62

Liat (%)	21,00	-	-
Debu (%)	6,00	-	-
Pasir (%)	73	-	-

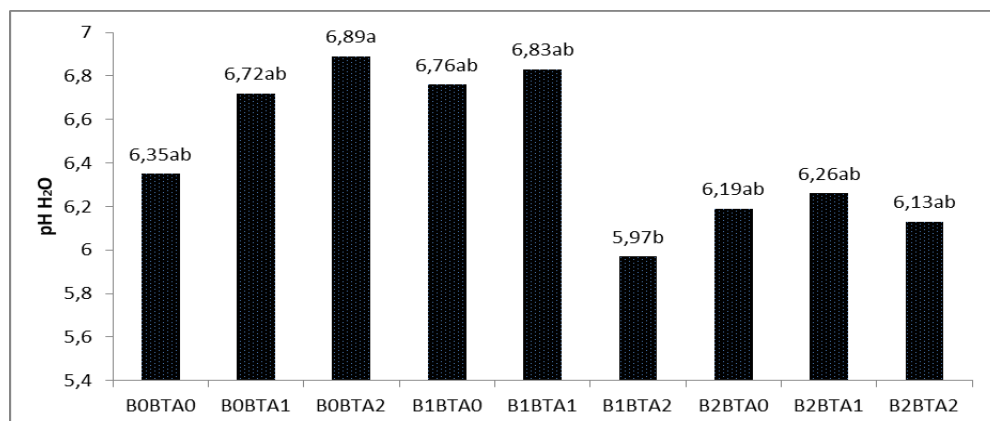
Keterangan: AM: Agak Masam, M: Masam, SR: Sangat Rendah, R: Rendah, S: Sedang

Hasil sidik ragam dan uji lanjut Tukey menunjukkan bahwa ameliorasi kombinasi biochar dan bentonit teraktivasi asam berpengaruh nyata terhadap pH H₂O, K-dd dan Na-dd. Sedangkan pemberian biochar berpengaruh sangat nyata terhadap C-organik dan BTA berpengaruh nyata terhadap KTK tanah lempung liat berpasir Bangkalan.

pH tanah

Pemberian biochar dan BTA dapat meningkatkan pH H₂O tanah secara nyata dari 6,35 menjadi 6,89

atau 8,50% (Gambar 1). Interaksi biochar dan BTA memberikan pengaruh nyata meningkatkan pH H₂O pada perlakuan B0BTA2. Hal ini diduga akibat mineralisasi unsur-unsur basa yang terkandung dalam bentonit, sedangkan biochar berpengaruh tidak nyata. Bentonit merupakan mineral montmorilonit yang memiliki rumus kimia ((Mg,Ca)·Al₂O₃·5SiO₂·nH₂O)_b (Grim, 1962).



Keterangan:

B0BTA0 (Biochar 0 ton ha⁻¹ + BTA 0 ton ha⁻¹), B0BTA1 (Biochar 0 ton ha⁻¹ + BTA 5 ton ha⁻¹), B0BTA2 (Biochar 0 ton ha⁻¹ + BTA 10 ton ha⁻¹), B1BTA0 (Biochar 5 ton ha⁻¹ + BTA 0 ton ha⁻¹), B1BTA1 (Biochar 5 ton ha⁻¹ + BTA 5 ton ha⁻¹), B1BTA2 (Biochar 5 ton ha⁻¹ + BTA 10 ton ha⁻¹), B2BTA0 (Biochar 10 ton ha⁻¹ + BTA 0 ton ha⁻¹), B2BTA1 (Biochar 10 ton ha⁻¹ + BTA 5 ton ha⁻¹), B2BTA2 (Biochar 10 ton ha⁻¹ + BTA 10 ton ha⁻¹)

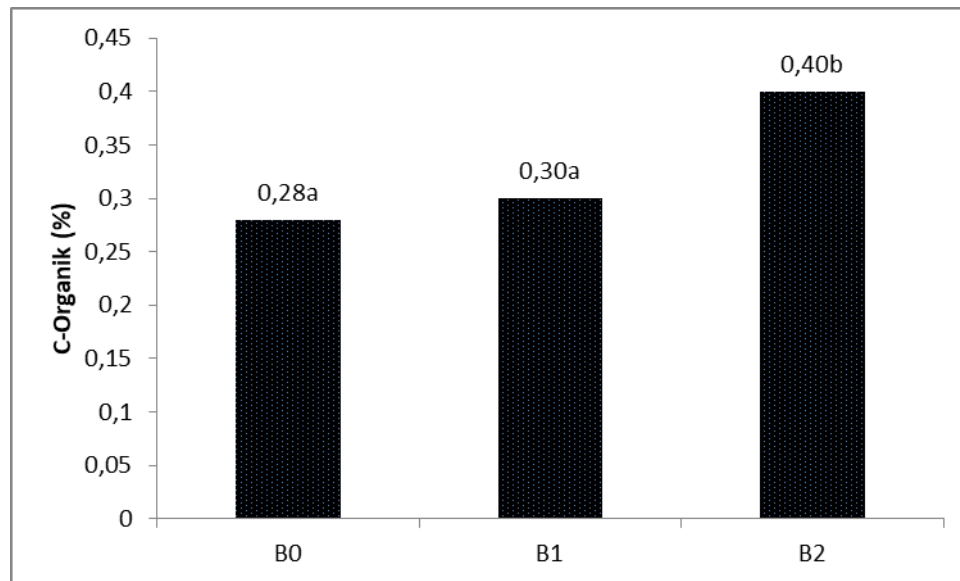
Gambar 1. Pengaruh interaksi perlakuan biochar dan BTA terhadap pH H₂O

Pemberian bahan amelioran dapat memperbaiki struktur, meningkatkan *water holding capacity* (WHC), dan meningkatkan pH tanah (Ismail *et al.*, 2011). Namun dari data yang ada dapat dilihat bahwa terjadi tren penurunan pH ketika pemberian dosis biochar ditingkatkan. Penambahan organik selain meningkatkan juga dapat menurunkan pH bergantung jenis bahan yang ditambahkan (Mateus *et al.*, 2017). Penurunan pH terjadi karena reaksi nitrifikasi yang berasal dari peningkatan mineralisasi N. Meskipun 3-26% karbon yang terdegradasi selama 100 tahun, namun N yang ada di biochar akan mengalami mineralisasi karena mineralisasi C akan selalu disertai dengan mineralisasi N (Dai *et al.*, 2014).

Karbon organik tanah

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh

biochar secara tunggal signifikan dapat meningkatkan C-organik tanah sebesar 42,86% pada perlakuan pemberian biochar 10 ton ha⁻¹. Selain itu dapat dilihat adanya tren kenaikan persentase C-organik ketika dosis biochar ditingkatkan (Gambar 2). Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan secara nyata 0,54% dengan pemberian dosis 9 ton ha⁻¹ dan peningkatan 0,89% (dosis 10 ton ha⁻¹) dibandingkan tanpa biochar (Mateus *et al.*, 2017; Chairunnisya *et al.*, 2017). Pemberian biochar pada tanah berpasir bermanfaat terhadap peningkatan air tersedia dan C-organik tanah (Hall *et al.*, 2010; Shi *et al.*, 2002). Aplikasi biochar sekam padi mampu meningkatkan kandungan C organik dan N total pada Ultisol, karena C-organik di dalam biochar bersifat stabil dan tidak mudah terdekomposisi oleh mikroorganisme tanah (Putri *et al.*, 2017).



Keterangan: B0 (Biochar 0 ton ha⁻¹), B1 (Biochar 5 ton ha⁻¹), B2 (Biochar 10 ton ha⁻¹)

Gambar 2. Pengaruh perlakuan biochar terhadap C-organik tanah

Basa dapat ditukar

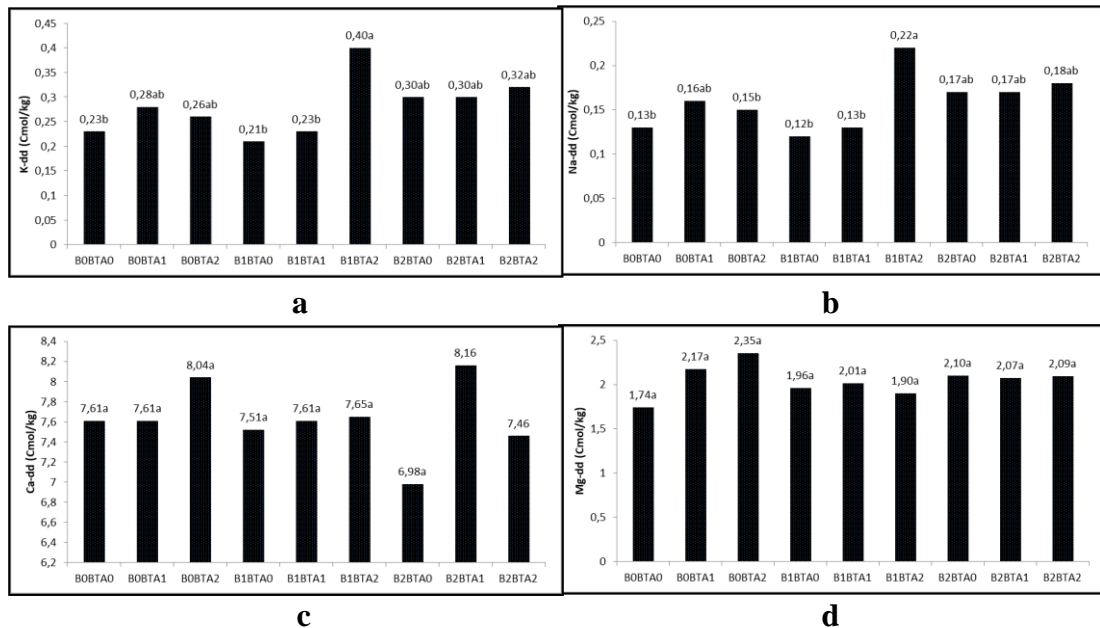
Penambahan bahan amelioran berupa biochar dan BTA meningkatkan K-dd. Nilai K-dd meningkat 73,91% pada perlakuan B1BTA2 dibandingkan kontrol (Tabel 1). Peningkatan sebesar 69,23% dibandingkan kontrol juga terlihat di nilai Na-dd pada perlakuan B1BTA2. Berbeda dengan K-dd dan Na-dd, bahan amelioran tidak nyata berpengaruh pada Ca-dd dan Mg-dd. Namun bahan amelioran dapat meningkatkan kedua kation basa-basa tersebut (Tabel 1).

Pemberian bahan amelioran seperti biochar dan bentonit pada tanah berpasir bermanfaat terhadap

ketersediaan hara N, P dan K tanah (Schnell *et al.*, 2011). Kandungan K yang cukup tinggi (29,63 cmol.kg⁻¹) pada biochar juga sangat berperan menyumbang K-dd tanah. Kadar K cukup tinggi pada biochar mampu meningkatkan K-dd dan KTK tanah secara signifikan (Mateus *et al.*, 2017). Biochar dan BTA memiliki pori dan KTK yang dapat meningkatkan kemampuan retensi hara tanah (Tangmitcharoen *et al.*, 2012; Kayama *et al.*, 2016). Menurut Kim *et al.* (2015), pengaplikasian biochar berupa sekam padi dengan dosis 10-50 ton ha⁻¹ mampu meningkatkan sifat fisikokimia tanah. Peningkatan unsur Na diduga berasal dari Na

yang ada pada bahan amandemen, yakni pada biochar 2,47 cmol kg⁻¹ dan BTA 0,22 cmol kg⁻¹. Biochar merupakan bahan amandemen yang dapat meningkatkan sifat kimia

tanah (Lehmann *et al.*, 2011) salah satunya meningkatkan kandungan basa-basa dapat ditukar, seperti K, Na, Ca, dan Mg.



Keterangan: BOBTA0 (Biochar 0 ton ha⁻¹ + BTA 0 ton ha⁻¹),
 BOBTA1 (Biochar 0 ton ha⁻¹ + BTA 5 ton ha⁻¹),
 BOBTA2 (Biochar 0 ton ha⁻¹ + BTA 10 ton ha⁻¹),
 B1BTA0 (Biochar 5 ton ha⁻¹ + BTA 0 ton ha⁻¹),
 B1BTA1 (Biochar 5 ton ha⁻¹ + BTA 5 ton ha⁻¹),
 B1BTA2 (Biochar 5 ton ha⁻¹ + BTA 10 ton ha⁻¹),
 B2BTA0 (Biochar 10 ton ha⁻¹ + BTA 0 ton ha⁻¹),
 B2BTA1 (Biochar 10 to ha⁻¹ + BTA 5 ton ha⁻¹),
 B2BTA2 (Biochar 10 ton ha⁻¹ + BTA 10 ton ha⁻¹)

Gambar 3. Pengaruh interaksi perlakuan biochar dan BTA terhadap K-dd (a), Na-dd (b), Ca-dd (c), Mg-dd (d)

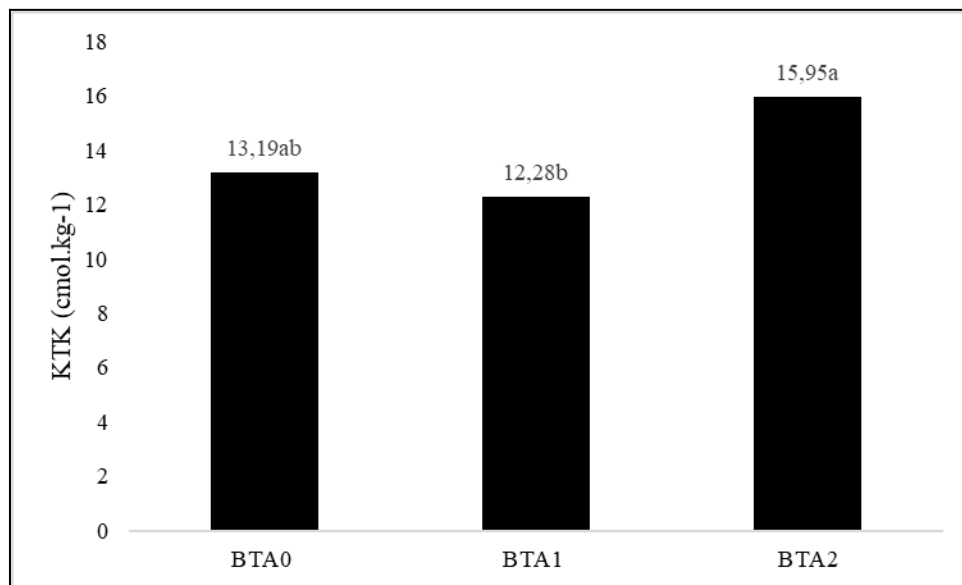
Kapasitas tukar kation tanah

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan BTA sebanyak 10 ton ha⁻¹ dapat meningkatkan KTK tanah sebesar 20,92% dibandingkan kontrol (Gambar 4). Hal ini menunjukkan

bahwa penambahan bentonit pada tanah berpasir menjadikan daerah pertukaran kation menjadi lebih besar, sehingga dapat mengurangi hilangnya hara (*leaching*). Bentonit merupakan mineral liat 2:1 yang dapat meningkatkan KTK karena

pengaruh muatan negatif bahan tersebut. Penambahan bentonit pada tanah menjadi salah satu pertimbangan untuk meningkatkan ketersediaan dan retensi hara tanah berpasir (Croker *et al.*, 2004; Wafaa dan Wagida, 2017). Sifat bentonit berpotensi mempertukarkan ion

menjadi hal penting dalam meningkatkan nilai KTK tanah. Bentonit merupakan batuan dengan kandungan mineral yang didominasi oleh montmorillonit, sehingga memiliki KTK yang tinggi (Murray, 1999).



Keterangan: BTA0 (Bentonit teraktivasi asam 0 ton ha⁻¹)
 BTA1 (Bentonit teraktivasi asam 5 ton ha⁻¹)
 BTA2 (Bentonit teraktivasi asam 10 ton ha⁻¹)

Gambar 4. Pengaruh perlakuan BTA terhadap KTK tanah

SIMPULAN

Biochar dan bentonit teraktivasi asam berpengaruh nyata meningkatkan beberapa variabel ukur kimia tanah lempung liat berpasing Bangkalan. Perlakuan biochar dan BTA berpengaruh nyata meningkatkan pH H₂O 8,50% pada perlakuan B0BTA2, K-dd dan Na-dd pada B1BTA2 sebesar 73,91%, dan

69,23%. Pemberian biochar berpengaruh sangat nyata meningkatkan C-organik 42,86% pada perlakuan B2, sedangkan BTA berpengaruh nyata meningkatkan KTK tanah 20,92% pada perlakuan BTA2.

DAFTAR PUSTAKA

Abewa, A.B., Yitaferu, Y.G., Selassie and Amare, T. 2014. The Role of Biochar

- on Acid Soil Reclamation and Yield of Teff (*Eragrostis tef* [Zucc] Trotter) in Northwestern Ethiopia. *J. of Agricultural Science*, 6 (1): 1-12.
- Berthelsen, S., Noble, A., D. Ruaysoongnern, A.S. Webb, H.F.M., and Yi Jiexiang. 2005. Addition of Clay Based Soil Ameliorants to Light Textured Soils to Reduce Nutrient Loss and Increase Crop Productivity. Conference Proceedings. Management of Tropical Sandy Soils for Sustainable Agriculture. A Holistic Approach for Sustainable Development of Problem Soils in the Tropics. 27th Nov.– 2nd Dec. 2005. KhonKaen, Thailand. FAO Corporate Document Repository. <http://www.fao.org/docrep/010/ag125e/AG125E00.htm>
- Chan, K.Y., van Zwieten, B.L., Meszaros, I., Downie, D., and Joseph, S. 2008. Using Poultry Litter Biochars as Soil Amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45: 437-444.
- Chairunnisya, R.A., Hanum, H., Hidayat, B. 2017. Aplikasi Bahan Organik dan Biochar untuk Meningkatkan C-organik, P dan Zn Tersedia pada Tanah Sawah. *Jurnal Agroteknologi FP USU* 5 (3): 494-499.
- Crocker, J.R., Poss, C., Hartmann and Bhuthorndharaj, S. 2004. Effects of Recycled Bentonite Addition on Soil Properties, Plant Growth and Nutrient Uptake in a Tropical Sandy Soil. *Plant and Soil*, 267: 155-163.
- Czaban, J., Siebielec, G., Czy, E., and NiedŹwiecki, J. 2013. Effects of Bentonite Addition on Sandy Soil Chemistry in a Long-Term Plot Experiment (I); Effect on Organic Carbon and Total Nitrogen. *Pol. J. Environ. Stud.* 22 (6): 1661-1667.
- Dai, Z., Wang, Y., Muhammad, N., Yu, X., Xiao, K., Meng, J., Liu, X., Xu, J., Brookes, P.C. 2014. The Effects and Mechanisms of Soil Acidity Changes, Following Incorporation of Biochars in Three Soils Differing in Initial pH. *Soil Science Society of America Journal*, 78: 1606-1614.
- Farrington, P., and N.A. Campbell. 1970. Properties of Deep Sandy Soils and the Growth of Lovegrass, *Eragrostis Curvulo* (schrad.) Nees. *Australian Journal of Soil Research* 8: 123-132.
- Glaser, B., Balashov, E., Haumaier, L., Guggenberger, G., and Zech, W. 2003. Black Carbon in Density Fractions of antropogenic Soil of the Brazilian Amazon Region. *Organic Geochem*, 31: 669-678.
- Grim, R.E. 1962. Applied Clay Mineralogy. McGraw Hill, New York.
- Hammond, D., Steeg3, H., and Van der Borg, K. 2007. Upland Soil Charcoal in the West Tropical Forest of Central

- Guyana. *Biotropica*, 39 (2): 153-160.
- Hall D.J.M., Jones, H.R., Crabtree, W.L., and Daniels, T.L. 2010. Claying and Deep Ripping Can Increase Crop Yields and Profits on Water Repellent Sands with Marginal Fertility in Southern Western Australia. *J. Aust. J. Soil Res.* 48: 178-187.
- Ismail, M., Basri, A.B. 2011. Pemanfaatan Biochar untuk Perbaikan Kualitas Tanah. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Aceh.
- Ivanic, M., Vdovic, N., Barreto, S.D.B., Bermanec, V., and Sondi, I. 2015. Mineralogy, Surface Properties and Electrokinetic Behaviour of Kaolin Clays Derived from Naturally Occurring Pegmatite and Granite Deposits. *Geologia Croatica* 68 (2): 139-145.
- Kayama, M., Nimpila, S., Hongthong, S., Yoneda, R., Wichienopparat, W., Himmapan, W., Vacharangkura, T. and Noda, I. 2016. Effects of Bentonite, Charcoal and Corncob for Soil Improvement and Growth Characteristics of Teak Seedling Planted on Acrisols in Northeast Thailand. *Forest* 7(26): 1-21. doi:10.3390/f7020036.
- Kim, H.S., K. Rae Kim, J.E. Yang, Y. Sik, Ok, G. Owens, T. Nehls, G. Wessolek, dan K. Hoon Kim. 2015. Effect of Biochar on Reclaimed Tidal Land Soil Properties and Maize (*Zea mays* L.) Response. *Chemosphere*, 142 (1): 1-7.
- Lehmann, J., Rillig, M.C., Thies, J., Masiello, C.A., Hockaday, W.C., Crowley, D. 2011. Biochar Effects on Soil Biota a Review. *Soil Biol Biochem* 43: 1812-1836.
- Mateus, R., Kantur, D, Moy, L.M. 2017. Pemanfaatan Biochar Limbah Pertanian sebagai Pembenh Tanah untuk Perbaikan Kualitas Tanah dan Hasil Jagung di Lahan Kering. *Agrotrop*, 7 (2): 99-108.
- Mateus, R., Lenny, M., and Kantur. D. 2017. Utilization of Corn Stover and Pruned Gliricidia Sepium Biochars as Soil Conditioner to Improve Carbon Sequestration, Soil Nutrients and Maize Production at Dry Land Farming in Timor, Indonesia. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research (IJAAR)* 10 (4): 1-8.
- Moosa, A., Ridha, A.M., Abullha, I.N. 2015. Chromium Ions Removal from Wastewater Using Activated Iraqi Bentonite. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 4 (1): 15-25
DOI: 10.15680/IJRSET.2015.04 02003
- Murray, H.H. 1999. Applied Clay Mineralogy Today and Tomorrow. *Clay Minerals*, 34: 39-49.
- Putri, V.I., Mukhlis ., dan Hidayat, B. 2017. Pemberian

- Beberapa Jenis Biochar untuk Memperbaiki Sifat Kimia Tanah Ultisol dan Pertumbuhan Tanaman Jagung. *FP USU. Jurnal Agroekoteknologi* 5 (4): 824-828.
- Sacchi, A. 2010. Improving the Cation Retention Capacity of Tropical Soils Using High Activity Clays. James Cook University, Australia.
- Schnell, R.W., D.M. Vietor, T.L. Provin., C.L. Munster, dan S. Capareda. 2011. Capacity of Biochar Application to Maintain Energy Crop Productivity: Soil Chemistry, Sorghum Growth, and Runoff Water Quality Effects. *Journal of Environmental Quality*, 41: 1044-1051.
- Shi, Y., Chen, X., and Shen, S. 2002. Mechanisms of Organic Cementing Soil Aggregate Formation and Its Theoretical Models. *J. Chin. J. Appl. Ecol*, 13: 1495-1498.
- Singh, B.P., Hatton, B.J., Singh, B., Cowie, A.L., and Kathuria, A. 2010. Influence of Biochars on Nitrous Oxide Emission and Nitrogen Leaching from Two Contrasting Soils. *Journal of Environmental Quality*, 39: 1224-1235.
- Subatra, K. 2013. Pengaruh Sisa Amelioran, Pupuk N dan P terhadap Ketersediaan N, Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Padi di Musim Tanam Kedua pada Tanah Gambut. *Jurnal lahan suboptimal*, 2 (2): 159-169.
- Szegi, T., Michéli, E., Tombácz, E., 2005. Improving Management Properties of Sandy Soils by Organo-Mineral Additives. *Cereal Res. Commun*, 33 (1): 353-356.
<https://doi.org/10.1556/CRC.33.2005.1.87>.
- Tangmitcharoen, S., Nimpila, S. Phuangjumpee, P. Piananurak, P. 2012. Two-Year Results of a Clonal Test of Teak (*Tectona grandis* L. f.) in the northeast Thailand. In Approach to Sustainable Forestry of Indigenous Tree Species in Northeast Thailand; JIRCAS Working report 74; Noda, I., Vacharangkura, T., Himmaman, W., Eds.; Japan International Research Center for Agricultural Sciences: Tsukuba, Japan, pp. 19-22.
- Wafa, M.T., and Wagida, Z. Hassan. 2017. Effect of Potassium Humate and Bentonite on some Soil Chemical Properties under Different Rates of Nitrogen Fertilization. *Mansoura Univ. J. Soil Sci. and Agric. Eng.*, 8 (10): 539-544.
- Yao, Y., Gao, B., Zhang, M., Inyang, M., and Zimmerman, A.R. 2012. Effect of Biochar Amendment on Sorption and Leaching of Nitrate, Ammonium, and Phosphate in a Sandy Soil. *Chemosphere*, 89: 1467-1471.
- Zhang, H., Chen, W., Zhao, B., Phillips, A.L., Zhou, Y., Lapen, D.R., Liu, J. 2020.

Sandy Soils Amended with Bentonite Induced Changes in Soil Microbiota and Fungistasis in Maize Fields. *Applied Soil Ecology*, 146: 103378.
doi:
10.1016/j.apsoil.2019.103378

Zulkarnaen, Wardoyo, S., Marmer, D.H. 1990. Pengkajian Pengolahan dan Pemanfaatan Bentonit dari Kecamatan Pule Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur sebagai Bahan Penyerap dan Bahan Lumpur Bor. Jakarta: *Buletin PPTM*, 12 (6).