

Perubahan Titik Muatan Nol dan Muatan Negatif Abu Terbang Batubara akibat Penambahan Kotoran Ayam dan Waktu Inkubasi

AGUS HERMAWAN^{1*)}
SABARUDDIN¹⁾
MARSI¹⁾
RENIH HAYATI¹⁾
WARSITO²⁾

¹⁾ Program Pascasarjana, ²⁾ Jurusan Tanah,
Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya.

^{*)}E-mail: agush_unsri@yahoo.co.id.

ABSTRACT

Changes in Point of Zero Charge and Negative Charge of Coal Fly Ash due to Chicken Manures Addition

Fly ash, coal combustion residue of thermal power plants, has been regarded as a problematic solid waste all over the world. Due to the environmental problems created by large-scale fly ash generation, efforts are being made to recycle these materials, such as to improve soil fertility as an ameliorant. In the present study, the possibility to improving the status of point of zero charge (PZC) and negative charge in fly ash (FA) and chicken manure (CM) mixtures was investigated. Fly ash was mixed with chicken manure composition of 0, 25, 75, and 100 % FA (w/w basis) and incubated for 15, 30, 45, and 60 days. Treatments arranged in factorial completely randomized design with 3 replicates. The results showed that the compositions of FA-CM and incubation period significantly affect the status of TMN, negative charge, P sorption and available-P. The mix of 50% FA with 45 days incubation tend to have a lower PZC and P sorption and higher negative charge and P-available. This composition could be use as an amelioran to improve the soils chemical properties in terms to decrease PZC and increase negatif charge, and it is necessary for further research.

Keywords: *chicken manure, coal fly ash, point of zero charge, negative charge*

1. Pendahuluan

Abu terbang batubara merupakan material kompleks yang dihasilkan dari pembakaran batubara pada suhu tinggi. Laju daur-ulang global produk samping pembakaran batubara, termasuk abu terbang batubara sekitar 50% dan sisanya ditimbun pada lahan urug (*landfill*) yang justru berpotensi untuk mencemari lingkungan di sekitarnya (Heidrich *et al.*, 2013). Material ini mengandung mineral amorfus dan kristalin dan umumnya adalah mineral ferro-aluminosilikat, yang menyerupai aluminosilikat lainnya seperti liat (*clay*) dan kaya akan Ca dan Mg silikat, dan oksida Ca dan Mg. Komposisi beberapa oksida yang terdapat pada abu

terbang batubara adalah sebagai berikut: SiO_2 54,59 %; Al_2O_3 3 1,69 %; MgO 4,38 %; CaO 4,27 % dan Fe_2O_3 3,19 % (Jumaeri *et al.*, 2007). Oleh karena itu, abu terbang batubara umumnya bersifat basa dan mempunyai potensi yang besar untuk digunakan sebagai bahan pengganti kapur guna menurunkan tingkat kemasaman tanah (Mittra *et al.*, 2003). Karakteristik mineralogi abu terbang batubara lebih kompleks dibanding bahan kapur dimana reaksi netralisasinya juga melibatkan mineral lain, seperti Ca dan Mg silikat dan aluminosilikat, disamping oksida Ca dan Mg (Brouwers dan Van Eijk, 2003).

Pandey dan Singh (2010) mengemukakan bahwa abu terbang mengandung semua unsur hara esensial yang dibutuhkan tanaman, kecuali nitrogen. Komposisi kimia abu terbang batubara terutama terdiri dari unsur Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na dan K dengan Si dan Al sebagai penyusun utama (Kishor *et al.*, 2010). Ca ditemukan sebagai kation dominan pada abu terbang diikuti oleh Mg, Na dan K. Sementara itu, unsur Al di dalam abu terbang umumnya terikat pada struktur aluminosilikat, sehingga toksisitas biologisnya menjadi terbatas (Kishor *et al.*, 2010). Selanjutnya, abu terbang juga mengandung hara makro seperti P, K, Ca, Mg dan S dan hara mikro seperti Fe, Mn, Zn, Cu, Co, B dan Mo (Pandey dan Singh, 2010).

Hasil- hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu batubara sebagai amelioran pada tanah pertanian dan diketahui dapat meningkatkan produksi tanaman, serta tidak menimbulkan pencemaran lingkungan (Mitra *et al.*, 2003; Aggarwal *et al.*, 2009; Venkatesh dan Eevera, 2008). US-EPA telah menetapkan bahwa abu batubara bukan merupakan limbah berbahaya (*non-hazardous*) karena kadar unsur-unsur pada abu terbang batubara relatif sama atau lebih rendah dibandingkan dengan yang terdapat dalam tanah pada umumnya (*American Coal Ash Association Educational Foundation*, 2009). Meskipun demikian, hasil-hasil penelitian mengungkapkan bahwa dosis optimum untuk aplikasi abu terbang batubara pada tanah pertanian relatif sangat besar, yaitu sekitar 5 % sampai 20 % (b/b), sehingga membutuhkan biaya tinggi dalam transportasi dan metode aplikasinya (Pathan *et al.*, 1999; Elliot dan Zhang, 2005).

Alternatif yang dapat diterapkan untuk pemanfaatan abu terbang batubara adalah melalui pencampurannya dengan pupuk organik, seperti kotoran ayam, sehingga dosis abu terbang batubara dapat diturunkan dan akan diperoleh amelioran yang kaya hara dan aman digunakan. Oleh karena itu, pada penelitian ini dikaji tentang pengaruh komposisi campuran abu terbang batubara dan kotoran ayam terhadap perubahan status titik muatan nol (TMN), dan muatan negatif campuran, serta hubungannya dengan kapasitas jerapan dan ketersediaan P campuran. Melalui penelitian ini diharapkan akan diperoleh komposisi campuran abu terbang batubara dan kotoran ayam yang memiliki muatan negatif yang tinggi, dengan kapasitas jerapan P rendah dan kandungan P tersedia yang tinggi. Produk penelitian ini diharapkan akan dapat digunakan sebagai amelioran untuk meningkatkan kualitas tanah dan produksi tanaman, khususnya tanah-tanah dengan bermuatan terubahkan,

seperti Oksisol dan Ultisol, yang mempunyai muatan negatif dan ketersediaan P rendah.

2. Bahan dan Metode

2.1. Abu Terbang Batubara dan Kotoran Ayam

Abu terbang batubara diperoleh dari PLTU di Muara Enim, Sumatera Selatan. Sebelum digunakan untuk percobaan, abu terbang batubara terlebih dahulu dikering-anginkan, kemudian digerus dan disaring dengan ayakan berdiameter lubang 0,05 mm. Abu terbang batubara yang digunakan pada penelitian ini mempunyai pH H₂O 8,75 dengan TMN sebesar 8,65. Nilai pH H₂O dan TMN ini mencerminkan rendahnya muatan negatif pada abu terbang batubara ini. Hal ini disebabkan karena abu terbang batubara ini didominasi oleh partikel berukuran debu (561,30 g kg⁻¹) dan liat dan sisanya berukuran pasir (288,00 g kg⁻¹) dan liat (150,70 g kg⁻¹). Selain itu, kadar C-organik pada abu terbang batubara ini sangat rendah yaitu sebesar 1,10 g kg⁻¹ (Hermawan *et al.*, 2013).

Kotoran ayam diambil dari tempat peternakan ayam di Inderalaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan. Kotoran ayam terlebih dahulu dikering-anginkan, kemudian digerus dan disaring dengan ayakan berdiameter lubang 2,0 mm. Kotoran ayam yang digunakan dalam penelitian ini tergolong basa (pH H₂O = 8,14) dengan TMN sebesar 7,50. Kandungan basa-basa seperti Na, Ca, Mg dan K relatif tinggi, yaitu berturut-turut sebesar 4,35, 21,00, 1,80, dan 31,95 cmol₍₊₎ kg⁻¹. Kapasitas tukar kation (KTK) kotoran ayam yang digunakan relatif tinggi (59,60 cmol₍₊₎ kg⁻¹). Kadar N-total dan C-organik berturut-turut sebesar 12,10 g kg⁻¹ dan 123,80 g kg⁻¹ dengan C/N sebesar 10,23. Kandungan P tersedia pada kotoran ayam ini tergolong tinggi, yaitu sebesar 109,05 mg kg⁻¹ (Hermawan *et al.*, 2013).

2.1. Rancangan Percobaan dan Peubah yang diamati

Percobaan dilakukan di Laboratorium Kimia, Biologi dan kesuburan tanah, Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Sriwijaya dan berlangsung mulai bulan April hingga Agustus 2013. Percobaan dilakukan menurut Rancangan Acak Lengkap Faktorial, dengan 3 ulangan. Faktor perlakuan pertama adalah perbandingan berat abu terbang batubara terhadap total campuran abu terbang-kotoran ayam (ATB-KA), meliputi: 0, 25, 50, 75, dan 100 persen ATB, dan waktu inkubasi, yang meliputi: 15, 30, 45 dan 60 hari sebagai faktor perlakuan kedua. Masing-masing komposisi campuran ATB-KA dengan berat total campuran 2 kg berat kering mutlak dicampur merata, dimasukkan ke dalam pot dan kemudian diinkubasi pada suhu ruangan. Kadar air campuran dipertahankan pada kondisi kapasitas lapang dengan menambahkan air bebas ion. Karakteristik kimia campuran yang dianalisis pada setiap periode inkubasi, meliputi: pH H₂O, titik muatan nol (TMN), muatan negatif, dan C-organik campuran.

Peubah pH H₂O ditetapkan dengan menggunakan pH meter, status TMN ditetapkan menggunakan metode titrasi garam (Sakurai *et al.*, 1988). Kadar C-

organik dilakukan dengan metode Walkley dan Black, dan P-tersedia menggunakan pengekstrak Bray I (Sulaeman *et al.*, 2005). Penetapan jerapan P dilakukan menurut Fox dan Kamprath (1970).

2.3. Analisis Data

Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis secara statistik melalui analisis keragaman (ANOVA) dan dilanjutkan dengan uji BNJ pada taraf uji $P < 0,01$. Selain itu, juga dilakukan uji regresi dan korelasi untuk mengetahui keeratan hubungan perlakuan dan peubah yang diamati.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perubahan pH, Titik Muatan Nol dan Muatan Negatif Campuran

Interaksi perlakuan komposisi campuran abu terbang batubara-kotoran ayam (ATB-KA) dan waktu inkubasi berpengaruh sangat nyata terhadap nilai pH H_2O , titik muatan nol (TMN) dan muatan negatif campuran ($P < 0,01$) oleh. Hasil uji beda nyata jujur (BNJ) menunjukkan bahwa nilai pH campuran pada kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 50% ATB dan waktu inkubasi selama 45 hari nyata lebih rendah dibanding pada kombinasi perlakuan yang lain, tetapi berbeda tidak nyata dibanding pada kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 50% ATB dan waktu inkubasi selama 60 hari, dengan kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 25% ATB dan waktu inkubasi selama 45 hari, dengan kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 25% ATB dan waktu inkubasi selama 60 hari, dan dengan kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 75% ATB dan waktu inkubasi selama 60 hari (Tabel 1). Perubahan pH campuran ini diduga berkaitan dengan proses dekomposisi bahan organik pada campuran. Meningkatnya proses dekomposisi bahan organik dapat menyebabkan terjadinya penurunan pH antara lain oleh adanya pelepasan CO_2 dari proses respirasi mikroorganisme yang dapat bereaksi dengan ion H^+ membentuk asam lemah (H_2CO_3) dan juga melalui proses nitrifikasi yang menghasilkan ion H^+ (Tan, 2003).

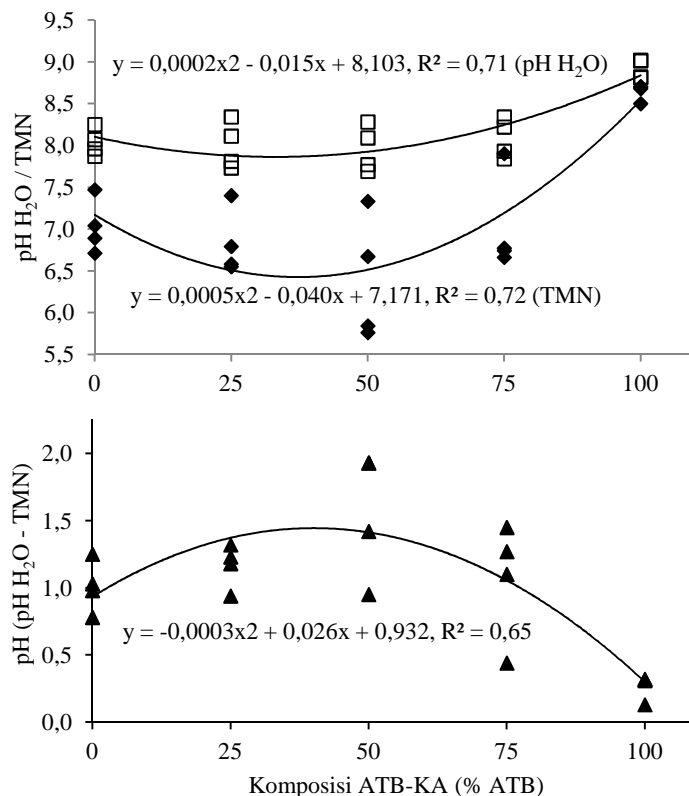
Nilai TMN pada kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 50% ATB dan waktu inkubasi 45 hari berbeda tidak nyata dibanding nilai TMN pada kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 50% ATB dan waktu inkubasi 60 hari, tetapi nyata lebih rendah dibandingkan dengan nilai TMN pada kombinasi perlakuan yang lain (Tabel 1). Gambar 1 menunjukkan bahwa komposisi ATB-KA mempunyai hubungan kuadratik dengan nilai pH dan TMN, dengan koefisien determinasi (R^2) berturut-turut sebesar 0,71 dan 0,72. Meningkatnya proporsi abu terbang batubara atau kotoran ayam hingga 50% cenderung menurunkan nilai pH dan TMN campuran. Perubahan pH dan TMN campuran akibat interaksi perlakuan komposisi ATB-KA dan waktu inkubasi ini menyebabkan terjadinya peningkatan muatan negatif (pH) campuran. Gambar 1 menunjukkan bahwa penurunan pH cenderung diikuti dengan penurunan nilai TMN yang lebih besar, sehingga muatan negatif (pH) campuran menjadi meningkat.

Tabel 1. Pengaruh komposisi campuran abu terbang batubara-kotoran ayam dan waktu inkubasi terhadap beberapa karakteristik kimia campuran

Kombinasi Perlakuan		Peubah					
ATB - KA (% ATB)	Waktu Inkubasi (hari)	pH H ₂ O	TMN	pH (pH H ₂ O-TMN)	C-organik (g kg ⁻¹)	Jerapan P (mg kg ⁻¹)	P-tersedia (mg kg ⁻¹)
0	15	8,25* HIJ	7,47* EF	0,78 BCD	92,20*	646,50*	98,40*
	30	8,07 EFG	7,04 B-D	1,03 CDE	120,50	645,00	124,05
	45	7,96* DEF	6,71* BC	1,25 DE	99,30*	628,20*	133,95*
	60	7,87 BCD	6,89 B-E	0,98 CDE	85,00	594,90	134,10
25	15	8,34* J	7,40* DEF	0,94 B-E	78,00*	624,00*	88,65*
	30	8,11 F-I	6,79 BCD	1,32 DEF	76,20	614,00	97,80
	45	7,81* A-D	6,58* B	1,23 DE	69,10*	577,60*	105,45*
	60	7,73 AB	6,55 B	1,18 DE	69,10	572,30	118,35
50	15	8,28* IJ	7,33* C-F	0,95 CDE	48,20*	603,70*	77,70*
	30	8,09 E-H	6,67 B	1,43 EF	47,50	594,80	83,70
	45	7,77* ABC	5,84* A	1,93 F	44,70*	570,60*	88,35*
	60	7,69 A	5,76 A	1,93 F	42,50	569,70	94,80
75	15	8,34* J	7,90* FG	0,44 ABC	27,70*	617,10*	44,40*
	30	8,22 G-J	6,77 BCD	1,45 EF	29,80	612,10	49,65
	45	7,93* CDE	6,66* B	1,27 DE	26,20*	602,80*	51,55*
	60	7,84 A-D	6,74 BC	1,10 DE	25,90	606,70	68,55
100	15	9,02* L	8,70* H	0,32 AB	1,40*	627,20*	6,00*
	30	9,01 L	8,70 H	0,31 A	1,10	627,70	14,45
	45	8,81* K	8,68* H	0,13 A	1,40*	615,30*	14,25*
	60	8,82 K	8,50 GH	0,32 AB	1,20	611,00	17,40
BNJ _(=0,01)		0,17	0,65	0,62	-	-	-

Keterangan : Angka yang diikuti oleh huruf yang sama berbeda tidak nyata (P < 0,01)

* Sumber: Hermawan *et al.* (2013)



Gambar 1. Hubungan komposisi campuran ATB-KA dengan pH H₂O, titik muatan nol (TMN), dan muatan negatif campuran pada berbagai waktu inkubasi

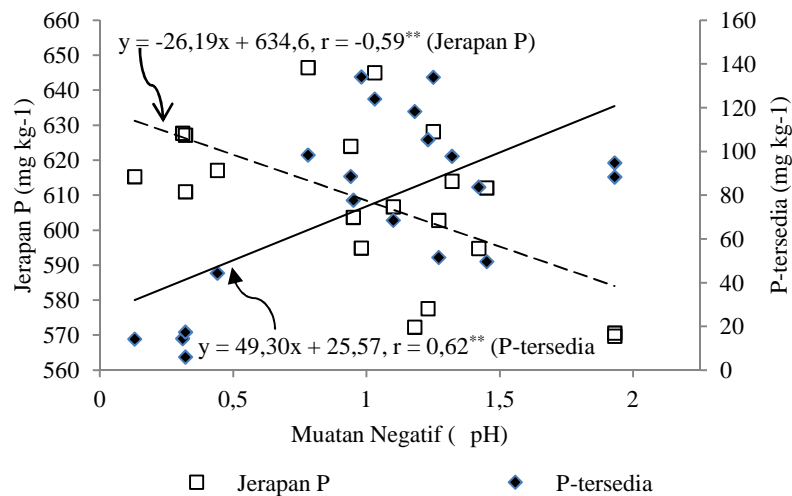
Muatan negatif (pH) pada kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 50% ATB dan waktu inkubasi 45 hari nyata lebih tinggi dibanding pada kombinasi perlakuan yang lain, kecuali terhadap kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 50% ATB dan waktu inkubasi 60 hari, terhadap kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 25% ATB dan waktu inkubasi 30 hari, dan terhadap kombinasi perlakuan ATB-KA dengan komposisi 75% ATB dan waktu inkubasi 30 hari (Tabel 1). Hasil ini menunjukkan bahwa perubahan TMN dan muatan negatif campuran telah berlangsung optimal pada waktu inkubasi 45 hari dan maksimum terjadi pada komposisi 50% ATB. Penurunan nilai TMN menjadi semakin lebih rendah dari pH aktualnya diduga berkaitan dengan dekomposisi abu terbang batubara dan kotoran ayam yang berlangsung selama waktu inkubasi. Hasil-hasil penelitian juga mengungkapkan bahwa pencampuran abu terbang batubara dan bahan organik dapat meningkatkan muatan negatif yang dicirikan dengan meningkatnya kapasitas tukar kation campuran (Bhattacharya dan Chattopadhyay, 2002; Sajwan *et al.*, 2006).

Kandungan C-organik dari kotoran ayam pada campuran berperan dalam menurunkan status TMN dan muatan negatif campuran. Tabel 1 menunjukkan bahwa pada campuran ATB-KA dengan proporsi ATB yang lebih tinggi mempunyai kandungan C-organik yang rendah dan cenderung mempunyai muatan negatif yang lebih rendah, sehingga nilai TMN cenderung menjadi lebih tinggi. Ionisasi gugus fungsional senyawa organik akan menghasilkan sejumlah muatan negatif pada permukaan koloid, sehingga status TMN menjadi turun (Tan, 2003). Asam-asam organik hasil dekomposisi mempunyai gugus fungsional dengan afinitas tinggi terhadap Al dan Fe, seperti hidroksil (-OH), dan karboksil (-COOH) (Tan, 2003). Jerapan spesifik asam organik oleh oksida-hidrus Al dan Fe, kompleksasi Al dan Fe serta reaksi protonasi-deprotonasi asam-asam organik dapat menyebabkan meningkatnya muatan negatif pada permukaan koloid dan nilai TMN menjadi turun (Haynes dan Mokolobate, 2001; Huang *et al.*, 2005). Selain itu, abu terbang batubara didominasi oleh mineral aluminosilikat dan mengandung oksida-oksida, seperti silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), besi (Fe₂O₃), kalsium (CaO) dan magnesium (MgO) yang tinggi. Reaksi hidrolisis senyawa oksida dan aluminosilikat pada abu terbang batubara yang menghasilkan muatan negatif (Ricou *et al.*, 2001; Brouwers dan Van Eijk, 2003), muatan negatif (pH) menjadi meningkat dan menyebabkan penurunan nilai TMN menjadi semakin lebih rendah dari pH aktual.

3.2. Perubahan Jerapan P dan P-tersedia Campuran

Perubahan nilai TMN dan muatan negatif akibat pencampuran abu terbang batubara-kotoran ayam dan waktu inkubasi tampak menyebabkan terjadinya perubahan jerapan P pada campuran. Nilai TMN yang lebih rendah dan muatan negatif yang lebih tinggi pada komposisi campuran 50% abu terbang batubara dengan waktu inkubasi 45 dan 60 hari cenderung mempunyai jerapan P yang lebih rendah dibanding pada kombinasi perlakuan yang lain (Tabel 1). Hal ini berkaitan dengan meningkatnya muatan negatif dan penurunan TMN (pH) campuran (Tabel

1) yang lebih besar pada komposisi campuran 50% ATB dibanding komposisi campuran yang lain. Gambar 2 menunjukkan bahwa muatan negatif campuran mempunyai hubungan negatif sangat erat dengan jerapan P campuran ($r = 0,59^{**}$, $P < 0,01$). Meningkatnya muatan negatif campuran yang bersumber dari gugus fungsional asam-asam organik dari dekomposisi kotoran ayam (Uehara dan Gillman, 1981; Stevenson, 1994) dan hidrolisis oksida-oksida pada abu terbang batubara (Browsers dan Van Eijk, 2003) secara bersama-sama berperan dalam menurunkan jerapan P campuran yang lebih baik pada komposisi campuran 50% ATB dibanding komposisi campuran yang lain..



Gambar 2. Hubungan muatan negatif dengan jerapan P dan P-tersedia pada berbagai komposisi campuran ATB-KA dan waktu inkubasi

Penurunan jerapan P campuran ini memberikan kontribusi terhadap peningkatan kadar P-tersedia pada campuran. Meningkatnya jumlah muatan negatif (pH) menyebabkan menurunnya daya tarik elektrostatis terhadap anion fosfat. Akibatnya anion fosfat menjadi lebih larut dan ketersediaan P menjadi meningkat (Uehara dan Gillman, 1981). Gambar 2 juga menunjukkan bahwa muatan negatif campuran mempunyai hubungan positif sangat erat dengan P-tersedia campuran ($r = 0,62^{**}$, $P < 0,01$). Jerapan P yang rendah pada kombinasi perlakuan campuran ATB-KA dengan komposisi 50% ATB pada waktu inkubasi 45 dan 60 hari cenderung mempunyai kandungan P-tersedia yang lebih tinggi dibanding pada waktu inkubasi yang lebih singkat (Tabel 1).

Peningkatan kandungan P-tersedia campuran juga bersumber dari P-tersedia dan P-organik dari kotoran ayam. Tabel 1 menunjukkan bahwa kandungan P-tersedia campuran cenderung meningkat dengan semakin lamanya waktu inkubasi, dan cenderung menurun dengan meningkatnya proporsi abu terbang batubara pada campuran. Hal ini menunjukkan bahwa sumber P utama pada campuran berasal dari kotoran ayam. Kadar P-tersedia yang lebih tinggi pada komposisi 0% dan 25% ATB terutama bersumber dari P-tersedia ($109,05 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$) dan perombakan P-

organik kotoran ayam. Ketersediaan P yang lebih rendah pada komposisi 75% dan 100% ATB disebabkan oleh kandungan P yang rendah ($10,35 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \text{ kg}^{-1}$) pada abu terbang batubara. Pada komposisi campuran 75% ATB, kandungan P-tersedia yang lebih rendah diduga akibat kandungan C-organik yang ditambahkan tidak mencukupi bagi mikroba untuk melarutkan P dari abu terbang batubara dan sumbangan P dari kotoran ayam relatif lebih sedikit. Pada komposisi 50% abu terbang batubara, C-organik dan P dari kotoran ayam diduga tersedia cukup sebagai sumber energi bagi mikroba, sehingga pelepasan P dari abu terbang batubara menjadi lebih besar. Hasil senada juga telah dilaporkan oleh Bhattacharya dan Chattopadhyay (2002) dan Anbalagan dan Manivannan (2012) bahwa pembentukan asam humat dan kandungan P-tersedia meningkat secara nyata pada komposisi abu terbang batubara dan bahan organik 1:1 dibanding proporsi bahan organik yang lebih rendah atau lebih tinggi yang berkaitan dengan ketersediaan C-organik sebagai sumber energi bagi mikroba dalam proses dekomposisi.

4. Kesimpulan

Pencampuran abu terbang batubara-kotoran ayam (ATB-KA) dapat meningkatkan muatan negatif campuran melalui penurunan titik muatan nol campuran (TMN). Komposisi campuran ATB-KA dan waktu inkubasi berpengaruh nyata terhadap TMN, muatan negatif, jerapan P dan P-tersedia campuran. Campuran ATB-KA dengan komposisi 50 % ATB dengan waktu inkubasi 45 mempunyai muatan negatif dan P-tersedia yang lebih tinggi serta TMN dan jerapan P yang lebih rendah.

Ucapan Terima Kasih

Data yang disajikan pada makalah ini merupakan sebagian data dari kegiatan penelitian yang didanai melalui Program Penelitian Unggulan Kompetitif Universitas Sriwijaya Tahun Anggaran 2013, untuk itu kami ucapkan terimakasih. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Sdr. Yuda Nopriandi dan Ricky F Sembiring, mahasiswa tingkat akhir pada Jurusan Tanah FP Unsri yang telah membantu dan terlibat langsung dalam pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Aggarwal, S, G.R. Singh and B.R. Yada. 2009. Utilization of fly ash for crop production: Effect on the growth of wheat and sorghum crops and soil properties. *J. Agricultural Physics*, 9:20-23.
- American Coal Ash Association Educational Foundation. 2009. CCP Fact Sheet 2: Coal Combustion Products: Not a Hazardous Waste. ACAA.
- Anbalagan, M and S. Manivannan. 2012. Effect of organic additives on the microbial population and humic acid production during recycling of fly ash through vermitechology. *International J. Res. Environ Sci and Tech*, 2(4): 96-100

- Bhattacharya, S. S. and G. N. Chattopadhyay. 2002. Increasing bioavailability of phosphorus from fly ash through vermicomposting. *J. Environ. Qual.* 31: 2116-2119
- Brouwers, H.J.H. and R.J. Van Eijk. 2003. Chemical reaction of fly ash. Proceedings of the 11th International Congress on the Chemistry of Cement (ICCC). The Cement and Concrete Institute of South Africa, p.791-800. Durban, South Africa
- Elliot, A.D and D. Zhang. 2005. Controlled Release Zeolite Fertilisers: A Value Added Product Produced from Fly Ash. 2005 World of Coal Ash (WOCA) Conference. Lexington, KY, USA.
- Fox, R. L. and Kamprath, E. J. 1970. Phosphate sorption isotherm for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902-907
- Haynes, R.J., and M.S. Mokolobate. 2001. Amelioration of Al toxicity and P deficiency in acid soils by additions of organic residues: a critical review of the phenomenon and the mechanisms involved. *Nutr. Cycl Agroecosyst* 59: 47-63
- Heidrich, C., H. Feuerborn, and A. Weir. 2013. Coal combustion products: a global perspective. 2013 World of Coal Ash (WOCA) Conference. Lexington, KY
- Hermawan, A., Sabaruddin, Marsi, and R. Hayati. 2013. Status jerapan dan ketersediaan P abu terbang batubara akibat penambahan kotoran ayam. Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal. Hal 245-255. Palembang.
- Huang, P.M., M. Wang and C. Chiu. 2005. Soil mineral-organic matter-microbe interactions: Impacts on biogeochemical processes and biodiversity in soils. *Pedobiologia* 49: 609-635
- Jumaeri, W. Astuti dan W.T.P. Lestari. 2007. Preparasi dan karakterisasi zeolit dari abu layang batubara secara alkali hidrotermal. *Reaktor*, 11(1):38-44.
- Kishor P, A.K. Ghosh and D. Kumar. 2010. Use of fly ash in agriculture: A way to improve soil fertility and its productivity. *Asian J. of Agric. Res* 4(1): 1-14
- Mitra, B. N., S. Karmakar, D. K. Swain, and B. C. Ghosh. 2003. Fly ash - a potential source of soil amendment and a component of integrated plant nutrient supply system. 2003 Internasional Ash Utilization Symposium. University of Kentucky, Paper #28.
- Pandey, V.C and N. Singh. 2010. Impact of fly ash incorporation in soil systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 136:16-27.
- Pathan S. M., L. A. G. Aylmore, and T. D. Colmer. 2003. Properties of several fly ash materials in relation to use as soil amendments. *J. Environ. Qual.* 32:687-693.
- Ricou, P., V. Hequet, I. Lecuyer and P. Le Cloirec. 1999. Influence of operating condition on heavy metal cation removal by fly ash in aqueous solution. 1999 Internasional Ash Utilization Symposium. University of Kentucky, Paper #42.
- Sajwan, K.S, S. Paramasivam, A.K. Alva and S.V. Sahi. 2006. Fly ash-organik byproduct mixture as soil amandment. *Soil and Water Pollution Monitoring, Protection and Remediation*, 3-23.
- Sakurai, K., Y. Ohdate and K. Kyuma. 1988. Comparison of salt titration and potentiometric titration methods for the determination of zero point of charge (ZPC). *Soil Sci. Plant Nutr.*, 34 (2):171-182
- Stevenson, F.J. 1994. *Humus Chemistry : Genesis, composition, reaction.* John Wiley & Sons Inc. New York.

- Sulaeman, Suparto, dan Eviati. 2005. Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Balai Penelitian Tanah, Balitbangtan, Departemen Pertanian.
- Tan, K.H. 2003. Humic Matter in the soil and the environment: Principles and Controversies. Marcel Dekker, Inc. new York. USA.
- Uehara, G and G.P. Gillman. 1981. The mineralogy, chemistry and physics of tropical soils with variable charge clays. Westview Press. Colorado.
- Venkatesh, R.M. And T. Eevera. 2008. Mass reduction and recovery of nutrients through vermicomposting of fly ash. Applied Ecology and Environmental Research 6(1):77-84.