

PENGARUH PENGGUNAAN BIOCHAR DAN PUPUK KALIUM TERHADAP PENCUCIAN DAN SERAPAN KALIUM PADA TANAMAN JAGUNG

Widowati, Asnah dan Sutoyo

Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggaladewi

Abstract

A glasshouse experiment was conducted to study the effect of biochar and potassium fertilizer on potassium leaching and potassium absorption by maize. A completely randomized block design was used with three replications. There were seven treatments consisting of : Ko : control (no biochar and no KCl), K1: 200 kg KCl, K2 (30 t/ha biochar), K3: (30t/ha biochar + 50 kg/ha KCl), K4: (30t/ha biochar+100 kg KCl), K5:(30 t/ha biochar + 150 kg/ha KCl), K6 : (30 t/ha biochar + 200 kg/ha KCl). The results showed that applications of biochar without potassium fertilizer resulted in leaching, availability and total of potassium soil were high and maximum potassium absorption was 33.95 kg/ha. Potassium absorption from biochar applications did not significantly differ if the treatments were combined with biochar and low application of potassium fertilizer. Application of biochar combined with potassium fertilizer did not increased leaching and absorption of potassium by maize.

Key words :leaching, absorption, potassium and biochar

Pendahuluan

Kalium sangat penting dalam proses metabolisme karbohidrat, aktivator berbagai enzim, mengatur tekanan osmotik, efisiensi penggunaan air, serapan nitrogen dan sintesis protein, dan translokasi dari asimilat (Clarkson dan Hanson 1980). Kalium diserap dari larutan tanah sebagai ion K^+ (Tisdale *et al.*, 1990). Ion kalium relatif rendah berkisar 0,1– 0,2 me/100 g tanah dan kompleks adsorpsi didominasi oleh Ca dan Mg. Tanah inseptisol di dominasi oleh kandungan liat yang relatif tinggi sehingga fiksasi K sangat kuat yang mengakibatkan konsentrasi K pada larutan tanah berkurang. Tingkat ketersediaan K sangat dipengaruhi oleh pH dan kejenuhan basa. Pada pH dan kejenuhan basa rendah kalium mudah

hilang tercuci, pada pH netral dan kejenuhan basa tinggi kalium diikat oleh Ca. Kapasitas tukar kation yang makin besar meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan K sehingga menurunkan potensi pencucian. Di laboratorium penggunaan biochar sampah menunjukkan pencucian K (61,19 mg/L lebih kecil dari kompos 81,98 mg/L (Widowati *et al.*, 2011). Menurut Sammi *et al.* (2010) bahwa 20% dari N, 30% P dan 50% dari K hilang melalui pencucian akibat aplikasi pupuk kandang sapi. Biochar bambu memiliki struktur yang sangat mikroporous, dengan efisiensi adsorpsi sekitar sepuluh kali lebih tinggi dari biochar kayu tradisional (Hua *et al.*, 2009). Kemampuan biochar untuk menyerap ion logam berat (Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+}) telah dipelajari Wang *et al.* (2008). Beberapa peneliti lain telah melaporkan

perilaku adsorpsi dari biochar kayu (Oya dan Iu 2002; Iyobe *et al.*, 2004), biochar residu dari jerami padi atau jerami gandum (Qiu *et al.*, 2008). Biochar memiliki karakteristik stabilitas yang lebih tinggi terhadap dekomposisi dan mampu menyerap ion dengan baik dibandingkan bahan organik lainnya, karena luas permukaan yang lebih besar, permukaan negatif, dan kerapatan (Liang *et al.*, 2006; Lehmann, 2007). Salah satu alasan untuk meningkatkan hasil panen dengan aplikasi biochar adalah meningkatnya pemanfaatan nitrogen dari penggunaan pupuk (Steiner *et al.*, 2007; Widowati *et al.*, 2011). Hal ini karena terjadi penurunan kehilangan nitrogen sebagai akibat peningkatan KTK tanah dengan aplikasi biochar (Chan *et al.*, 2008; Masulili *et al.*, 2010). Biochar sangat penting untuk meningkatkan kemampuan tanah menyimpan karbon, meningkatkan kesuburan tanah, serta menjaga keseimbangan ekosistem tanah, dan bisa bertindak sebagai pupuk dan meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman dengan menyediakan dan mempertahankan hara (Glaser *et al.*, 2002; Mayor *et al.*, 2005; Steiner *et al.*, 2007; McHenry, 2009). Biochar sampah organik kota dapat meningkatkan status kesuburan tanah, terutama meningkatkan C-organik, N, K dan KTK (Widowati *et al.*, 2012). Hasil penelitian yang menunjukkan penurunan kehilangan nitrogen dengan aplikasi biochar (Steiner, 2007; Ding *et al.*, 2010, Widowati *et al.*, 2011) maupun kemampuan biochar dalam memperbaiki sifat tanah, termasuk pH tanah, dan KTK (Chan *et al.*, 2008; Masulili *et al.*, 2010), agregasi tanah, kapasitas memegang air tanah dan kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2008), dan meningkatkan populasi dan aktivitas biologi tanah (Rondon *et al.*, 2007). Namun belum banyak informasi tentang pengaruh biochar pada pencucian kalium. Oleh karena itu perlu dipelajari lebih lanjut apakah biochar dapat mengurangi atau

menggantikan pupuk KCl serta pengaruhnya terhadap pencucian dan serapan kalium pada pertumbuhan tanaman jagung. Hasil kajian ini akan memberikan informasi untuk meningkatkan pemanfaatan kalium sehingga efisiensi dalam pemakaian pupuk KCl.

Bahan dan Metode

Tanah dan biochar sampah organik

Penelitian ini menggunakan tanah Inceptisol yang diambil dari kedalaman 0–20 cm. Bahan baku biochar yang digunakan adalah sampah organik kota (terdiri atas daun dan batang dari sisa sayuran dan buah, jagung, rumput, dedaunan pohon, tanaman hias) yang diambil dari UPT Pengelolaan Limbah Padat Dinas Kebersihan Kota Malang. Produk biochar diproduksi dari bahan baku yang mempunyai kadar air 17-19% pada suhu 500°C dalam waktu 2 jam 5 menit (Widowati *et al.*, 2011). Biochar digunakan setelah melewati ayakan 10 – 20 mesh. Karakteristik biochar dianalisis dengan metode Widowati *et al.*, 2011. Hasil analisis dasar tanah penelitian dan karakteristik biochar disajikan pada Tabel 1. Percobaan dilakukan di rumah kaca Universitas Tribhuwana Tunggaladewi, Malang, Indonesia pada suhu udara harian antara 16-36°C dengan kelembaban relatif 43-86%, dan intensitas cahaya 365-1997 lux. Metode yang dilakukan untuk melihat proses pencucian dilakukan memakai PVC diameter silinder sebesar 14,40 cm dan tinggi 50 cm. Silinder itu dipenuhi dengan 8 kg tanah (< 2 mm kering udara) dengan kadar air 39% (ketinggian sampel tanah dalam silinder 40 cm). Pori-pori 3,0 mm dibuat di bagian bawah silinder (4 pori cm²). Untuk filtrasi air yang tercuci ditempatkan 24 kelereng di bagian bawah pipa, kemudian silinder ditutup dengan *glasswool*. PVC di alasi dengan bak untuk

menampung air yang tercuci. Jagung varietas BISI ditanam 1 tanaman per PVC. Pemupukan SP₃₆ dengan dosis 100 kg/ha diberikan sekaligus sedangkan Urea 200 kg/ha (90 kg N/ha) diberikan sebanyak dua kali yaitu 1/3 dosis pada umur 1 minggu setelah tanam (mst) dan 2/3 dosis pada 4 mst. Jumlah perlakuan pemupukan ada 7 yaitu (1) kontrol (tanpa biochar dan KCl), (2) 1K (KCl 200 kg/ha), (3) BK0 (biochar, tanpa KCl), (4) BK1/4 (biochar+KCl 50 kg/ha), (5) BK1/2 (biochar+KCl 100 kg/ha), (6) BK3/4 (biochar+KCl 150 kg/ha), dan (7) BK1 (biochar+KCl 200 kg/ha).

Tabel 1. Analisis tanah sebelum tanam dan karakteristik biochar

Karakteristik	Tanah	Biochar sampah organik kota
pH H ₂ O	6,37	9,60
Organic -C (%)	1,46	31,41
N Total (%)	0,19	1,67
C/N	7	18
P (%)		0,72
P Bray 1 (mg/kg)	24,38	
K (%)		0,93
K (cmol/kg)	0,08	
CEC (cmol/kg)	14,02	23,87
Mg (%)		0,61
Mg (cmol/kg)	3,81	
Ca (%)		1,08
Ca (cmol/kg)	4,49	
Pasir (%)	21,00	
Debu (%)	55,33	
Liat (%)	23,67	

Perlakuan diatur dalam Rancangan Acak Kelompok dan diulang tiga kali. Pemeliharaan tanaman sampai mencapai pertumbuhan vegetatif maksimum pada umur 60 hari ditandai sesaat sebelum muncul malai. Sebelum pencucian kalium dimulai, ditambahkan air suling sebanyak 1.000 mL selama 1 hari agar kelembaban terjaga secara merata pada kapasitas

lapangan (Ding *et al.*, 2010; Widowati *et al.*, 2011). Selama periode pencucian sejumlah air suling ditambahkan sebagai volume air pencucian sebanyak 1.000 mL hingga tanaman berumur 30 hari, 1.500 ml saat tanaman berumur 30–50 hari, dan 3.000 ml saat berumur 50–60 hari. Penambahan air dilakukan setiap 5 hari sekali dari atas PVC untuk mencerminkan curah hujan lokal. Volume air yang tercuci ditampung. Sampel air yang tercuci (*lechat*) diambil pada setiap kali periode pencucian, yaitu 1 hari setelah penambahan air pencucian. Sampel air yang tercuci dikumpulkan mulai awal pertumbuhan hingga tanaman berumur 30 hari dan 30–60 hari. Pada akhir pertumbuhan vegetatif tanaman dilakukan pengamatan destruktif terhadap luas daun (*leaf area meter*), bobot kering tanaman (daun dan batang), dan kadar kalium dalam sampel daun. Bobot kering tanaman dilakukan dengan mengeringkan dengan oven pada suhu 70°C selama 2 x 24 jam sampai suhu konstan. Serapan hara K tanaman jagung ditentukan oleh bobot kering biomasa tanaman jagung dan kadar hara K dalam tanaman jagung (saat vegetatif maksimum). Analisis kandungan kalium dengan *Flame Photometer* model 2655-10. Pengukuran terhadap garam terlarut dalam *lechat* dengan *Conductivity Meter* 4071 Jenway. Data dianalisis dengan menggunakan program software SPSS versi 13.0, apabila nyata dilanjutkan dengan uji BNT.

Hasil dan Pembahasan

Pengaruh biochar terhadap pencucian kalium dan kadar garam terlarut (EC) pada pertumbuhan jagung

Biochar sampah organik yang diproduksi dengan cara pirolisis (Widowati *et al.*, 2011) masih mengandung kalium yang berasal dari bahan bakunya (Tabel 1). dapat melarut dan mengalami pencucian. Pada periode pencucian pada 1-30 hari dan 30–

60 hari jumlah kalium yang tercuci dari biochar tidak berbeda dari pupuk KCl (Tabel 2). Pada 30 hari pertama, pencucian K meningkat dengan meningkatnya dosis KCl. Hasil ini sejalan dengan Lehmann *et al.* (2003) bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan pencucian K, tetapi tidak untuk Ca dan Mg. Pencucian hara meningkat selama 10-20 hari pertama setelah pemberian pupuk, lebih lama untuk K dan lebih pendek untuk Ca. Pemupukan akan menyebabkan pencucian K intensif ketika biochar diaplikasikan pada Ferralsol. Banyaknya kalium yang tercuci pada 0-30 hari lebih tinggi dari pada 30-60 hari. Pertumbuhan tanaman jagung pada umur 30 hari setelah tanam (hst) tidak secepat pada umur 30-60 hst sehingga pencucian kalium juga lebih besar.

Kumulatif pencucian kalium terendah (46,19 ppm) dicapai oleh biochar tanpa KCl yang tidak berbeda dengan

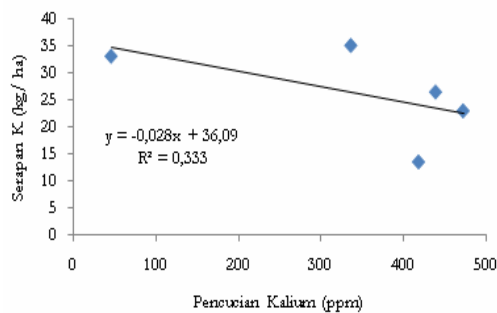
pemupukan KCl. Pada 30-60 hari, peningkatan dosis KCl lebih lanjut tidak menunjukkan peningkatan pencucian kalium. Akumulasi pencucian tertinggi (472,65 ppm K) dicapai pada $\frac{3}{4}$ dosis KCl. Semakin banyak kalium yang tercuci akan semakin berkurang kadar K total di dalam tanah ($R^2 = 0,49$). Hasil pengukuran terhadap daya hantar listrik (EC) diperkirakan sejumlah garam total yang larut atau total ion yang terlarut di dalam air. Kondisi demikian akan beresiko terhadap pencemaran air tanah. Sejalan dengan banyaknya kalium yang tercuci maka EC yang lebih rendah dijumpai pada aplikasi biochar tanpa KCl sebesar 1,02 mili second (ms). EC tertinggi sebesar 4,39 ms ditunjukkan pada biochar dengan dosis $\frac{3}{4}$ KCl (Tabel 2). Pada 30-60 hari diperoleh biochar dengan dosis KCl bertambah tidak meningkatkan pencucian kalium (Tabel 2).

Tabel 2. Pengaruh biochar dengan KCl berbagai dosis terhadap pencucian kalium dan kadar garam terlarut (EC) pada pertumbuhan jagung

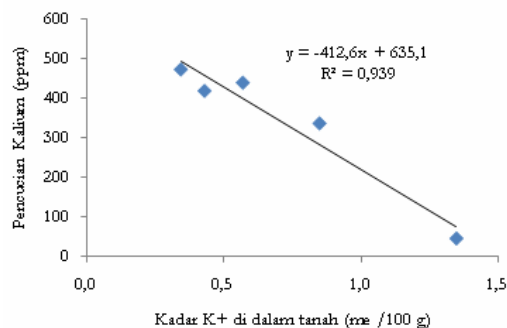
Perlakuan	Kalium tercuci (ppm)		EC (mili detik)
	1-30 hari	30-60 hari	
Kontrol	-	-	0,31 a
KCl 200 kg/ha	32,70 a	0,89 a	1,65 c
Biochar 30 t/ha	38,60 a	7,59 a	1,02 b
Bio 30 t/ha+KCl 50 kg/ha	220,38 b	116,21 b	2,11 cd
Bio 30 t/ha+KCl 100 kg/ha	311,70 d	127,59 bc	2,58 d
Bio 30 t/ha+KCl 150 kg/ha	339,75 e	132,90 bc	4,39 e
Bio 30 t/ha+KCl 200 kg/ha	274,65 c	143,92 c	2,64 d

Kalium terbukti sangat mobil di dalam tanah dan dalam jumlah besar hingga 30% dari jumlah yang berada di tanah yang dipupuk dengan cepat akan tercuci (Lehmann *et al.*, 2003). Pencucian K yang rendah pada biochar tanpa KCl sehingga ketersediaan dan serapan K menjadi tinggi (Gambar 1). Biochar dengan KCl dosis separoh hingga penuh akan menurunkan K tersedia dan serapan K pada tanaman jagung. Ada hubungan erat antara pencucian dan ketersediaan K di dalam

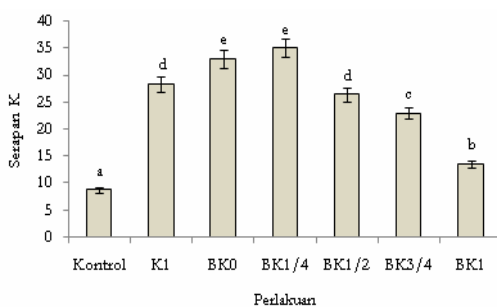
tanah $R^2 = 0,94$. Semakin tinggi pencucian akan semakin berkurang K tersedia di dalam tanah (Gambar 2) sehingga semakin rendah kalium yang diserap tanaman. Pada kondisi pencucian, serapan kalium lebih baik pada biochar tanpa pupuk KCl maupun biochar+KCl $\frac{1}{4}$ dosis (Gambar 3). Aplikasi biochar dengan dosis KCl yang bertambah akan menurunkan serapan K tanaman jagung dengan nilai $R^2 = 0,96$. Serapan K maksimum sebesar 33,95 kg/ha diperoleh pada aplikasi biochar tanpa KCl.



Gambar 1. Hubungan antara pencucian dan serapan K pada pertumbuhan tanaman jagung

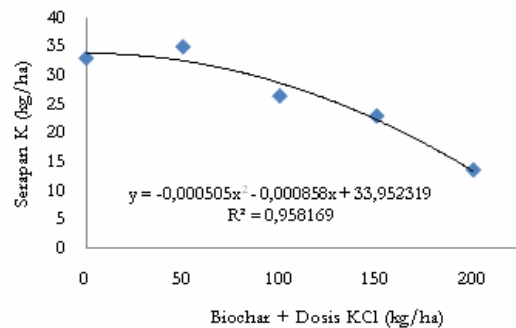


Gambar 2. Hubungan antara kadar K di dalam tanah dengan pencucian K



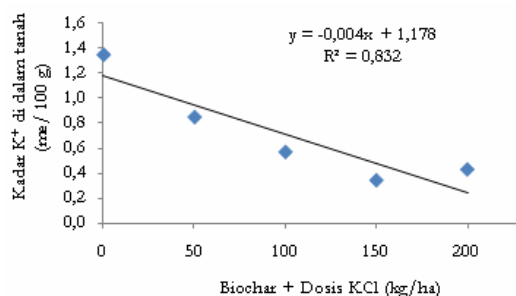
Gambar 3. Serapan K pada berbagai perlakuan setelah pencucian K

Setelah periode pencucian K diperoleh kadar Ca lebih tinggi dari pada Mg dan K dalam tanah. Pemberian biochar menyebabkan kenaikan kadar Ca di dalam tanah dibanding tanpa biochar pada kondisi pencucian (Gambar 4). Semakin tinggi kadar Ca di dalam tanah semakin rendah kadar K yang diserap ($R^2 = 0,15$).



Gambar 4. Hubungan antara biochar pada berbagai dosis KCl dengan serapan K

Ion bervalensi tinggi dapat dengan mudah mengganti ion bervalensi lebih rendah. Jadi Ca^{2+} dapat dengan mudah mengganti K^+ , tetapi tidak sebaliknya. Proses pertukaran kation dipengaruhi oleh valensi kation, ukuran kation, sifat mineral terhadap kation dan konsentrasi kation pada larutan. Apabila Ca^{2+} diganti dengan K^+ diperlukan persyaratan lain, yaitu konsentrasi K^+ pada larutan harus lebih tinggi dari konsentrasi Ca^{2+} . Jika kedua kation yang akan melakukan proses pertukaran kation mempunyai valensi sama, kation yang mempunyai ukuran lebih besar mempunyai kemampuan menukar kation lebih besar dibandingkan kation berukuran lebih kecil (Tan, 2001).



Gambar 5. Hubungan antara biochar pada berbagai dosis KCl dengan kadar K di dalam tanah setelah pencucian K

Demikian pula semakin tinggi kadar Mg di dalam tanah semakin tinggi kalium yang diserap ($R^2 = 0,41$). Kadar K total akan

menurun dengan pemupukan KCl dibanding kontrol. Namun aplikasi biochar menyebabkan kadar K total meningkat (Tabel 3). Aplikasi biochar dengan KCl yang semakin bertambah akan menurunkan kadar K tersedia di dalam tanah dengan nilai $R^2 = 0,83$ (Gambar 5). Padahal kadar K tersedia yang semakin meningkat akan meningkatkan serapan K ($R^2 = 0,54$) dan kadar K total di dalam tanah ($R^2 = 0,48$). Tan (2001) menyatakan bahwa jumlah kalium yang dapat diadsorpsi oleh tanah tergantung pada tingkat kejenuhannya.

Pertumbuhan tanaman jagung terendah pada perlakuan control. Secara

umum biochar tanpa KCl maupun dengan $\frac{1}{4}$ dosis KCl menghasilkan pertumbuhan terbaik terutama luas daun. Hal ini bersesuaian dengan serapan K pada kondisi pencucian (Gambar 6). Meskipun tanaman hanya diberi biochar tanpa KCl, namun proses asimilasi karbohidrat tetap berjalan. Terbukti bila dibandingkan dengan biochar dengan KCl (Tabel 3). Hal ini membuktikan bahwa aplikasi biochar dapat mencukupi kebutuhan kalium bagi pertumbuhan vegetatif tanaman jagung sehingga berpotensi menggantikan pemakaian pupuk KCl.

Tabel 3. Pertumbuhan tanaman jagung

Perlakuan	Pertumbuhan tanaman pada 60 hst				
	Tinggi tanaman (cm)	Luas daun (cm ²)	BK batang (t/ha)	BK daun (t/ha)	BK total tanaman (t/ha)
Kontrol	84.00 a	2483.37 a	1.12 a	0.85 a	1.97 a
KCl 200 kg/ha	88.00 a	5301.66 c	1.47 b	1.55 bcd	3.02 c
Biochar 30 t/ha	99.33 b	5792.14 d	1.64 b	1.54 bcd	3.18 cd
Bio 30 t/ha+KCl 50 kg/ha	99.00 b	5952.86 d	1.61 b	1.65 d	3.26 d
Bio 30 t/ha+KCl 100 kg/ha	96.67 b	5149.67 c	1.56 b	1.57 cd	3.12 cd
Bio 30 t/ha+KCl 150 kg/ha	87.67 a	5075.17 c	1.54 b	1.42 cd	2.98 c
Bio 30 t/ha+KCl 200 kg/ha	85.67 a	4614.40 b	1.25 a	1.38 b	2.63 b

Biochar tidak hanya sebagai bahan yang masih mengandung unsur hara K (Tabel 1) tetapi juga sebagai bahan amandemen tanah yang dapat memperbaiki keterserapan hara K sehingga meskipun tanpa KCl dapat membentuk bobot kering tanaman. Potensi biochar sebagai bahan amandemen untuk menjaga kesinambungan kesuburan dan produktivitas tanah di daerah tropis telah dilaporkan oleh Topoliantz *et al.* (2007). Kalium yang terkandung dalam biochar dapat berada dalam larutan tanah sehingga mudah diserap oleh tanaman (Gambar 6) dan juga peka terhadap pencucian (Tabel 2). Dari tinggi tanaman dan luas daun menunjukkan hasil terbaik dengan

menggunakan biochar daripada pupuk KCl. Peningkatan dosis KCl lebih lanjut hingga dosis $\frac{3}{4}$ dosis tidak menunjukkan perbedaan terhadap bobot kering batang, bobot kering daun, dan bobot kering total tanaman (Tabel 3). Akan tetapi aplikasi biochar dengan dosis 200 kg/ha KCl justru menurun dibanding tanpa biochar untuk luas daun, bobot kering batang dan bobot kering total tanaman. Setelah pencucian diperoleh K total tanah yang rendah pada perlakuan tanpa biochar yang tidak berbeda dengan kontrol. Penggunaan biochar tanpa KCl maupun dengan $\frac{1}{4}$ dosis KCl memperoleh kadar K total tanah yang tinggi. Peningkatan dosis KCl tidak meningkatkan kadar K dan Ca di dalam

tanah (Tabel 4) dan cenderung menimbulkan polusi di dalam tanah (Tabel 2). Penurunan kadar K pada larutan tanah berkurang akibat pencucian (Tabel 2 dan 4)

dapat mengganggu pertumbuhan tanaman jagung. Karena untuk setiap ton hasil biji tanaman jagung membutuhkan 27,4 kg N, 4,8 kg P dan 18,4 kg K (Cook, 1985).

Tabel 4. Kadar hara dalam tanah setelah pencucian kalium

Perlakuan	Kadar hara dalam tanah setelah pencucian kalium			
	Mg ²⁺ (me/100 g)	Ca ²⁺ (me/100 g)	K ⁺ (me/100 g)	K Total (mg/kg)
Kontrol	1,46 b	28,44 c	0,07 a	444,80 a
KCl 200 kg/ha	2,45 c	16,09 a	0,48 cd	156,88 a
Biochar 30 t/ha	1,62 b	24,34 b	1,35 f	1669,38 c
Bio 30 t/ha+KCl 50 kg/ha	3,23 d	25,55 bc	0,85 e	1673,24 c
Bio 30 t/ha+KCl 100 kg/ha	2,32 c	24,50 b	0,57 d	1279,53 b
Bio 30 t/ha+KCl 150 kg/ha	0,45 a	25,63 bc	0,34 b	1320,74 b
Bio 30 t/ha+KCl 200 kg/ha	0,42 a	24,41 b	0,43 bc	1560,59 bc

Kesimpulan

Penggunaan biochar secara mandiri tanpa pupuk KCl dapat menekan pencucian K dan garam larut sedangkan kadar K tersedia dan K total tanah serta serapan K semakin tinggi. Kombinasi biochar dengan penambahan dosis pupuk KCl yang tidak meningkatkan pencucian dan serapan K.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan Nasional dan Kebudayaan yang telah menyediakan dana penelitian Hibah Bersaing pada tahun 2012.

Daftar Pustaka

- Chan, K. Y., Van Zwieten, B. L., Meszaros, I., Downie, D. and Joseph, S. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian Journal of Soil Research* 46: 437- 444.
- Clarkson, D.T. and Hanson, J.B. 1980. The mineral nutrition of higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 31: 239-298.
- Cook G.W. 1985. Potassium in the Agricultural System of the Humid Tropics. p.21-28. *Proceeding of the 19th Colloquium of the International Potash Institute, Held in Bangkok/Thailand.*
- Ding, Y., Yu-Xue, L., Wei-Xiang, W., De-Zhi, S., Min, Y. and Zhe-Ke, Z. 2010. Evaluation of Biochar Effects on Nitrogen Retention and Leaching in Multi-Layered Soil Columns. *Water Air Soil Pollut DOI 10.1007/s11270-010-0366-4.*
- Easton, Z.M. and Petrovic, A.M. 2004. Fertilizer source effect on ground and surface water quality in drainage from turfgrass. *Journal of Environmental Quality* 33:645–655.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal a review. *Biology and Fertility of Soils* 35: 219-230.
- Hua, L., Wu, W., Liu, Y., McBride, M. B. and Chen, Y. 2009. Reduction of nitrogen loss and Cu and Zn mobility during sludge composting with bamboo charcoal amendment. *Environmental Science and Pollution Research* 16: 1–9.
- Iyobe, T., Asada, T., Kawata, K. and Oikawa, K. 2004. Comparison of removal efficiencies for ammonia and amine gases between woody charcoal and activated carbon. *Journal of Health Science* 50: 148–153.

- Lehmann, J. 2007. A handful of carbon. *Nature* 447: 143-144.
- Lehmann, J., da Silva, J. P., Jr., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W. and Glaser, B. 2003. Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: Fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant and Soil* 249: 343–357.
- Liang, B., Lehmann, J., Kinyangi, D., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J. O., Thies, J., Luizao, F. J. Peterson, J. and Neves, E. G. 2006. Black carbon increases cation exchange capacity in soils. *Soil Science Society of America* 70: 1719–1730.
- Masulili, A., Utomo, W.H. and Syekhiani. 2010. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its Influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agriculture Science* 3: 25-33.
- Major, J., Steiner, C., Ditommaso, A., Falcão, N. P. S. and Lenmann, J. 2005. Weed composition and cover after three years of soil fertility management in the central Brazilian Amazon: Compost, fertilizer, manure and charcoal applications. *Weed Biology and Management* 5: 69–76.
- McHenry, M. P. 2009. Agricultural bio-char production, renewable energy generation and farm carbon sequestration in Western Australia: Certainty, uncertainty and risk. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 129: 1–7.
- Oya, A. and Iu, W. G. 2002. Deodorization performance of charcoal particles loaded with orthophosphoric acid against ammonia and trimethylamine. *Carbon* 40: 1391–1399.
- Qiu, Y., Cheng, H., Xu, C. and Sheng, G. D. 2008. Surface characteristics of crop-residue-derived black carbon and lead (II) adsorption. *Water Research* 42: 567–574.
- Rondon, M. A., Lehmann, J., Ramirez, J. and Hurtado, M. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biology and Fertility of Soils* 43: 699-708.
- Sammi, K.R.A., Pax, F.C., Blamey, B., Ram, C., Dalal, C., Mohanty, M., Muneshwar, A., Singh, A., Subba Rao, A. M., Pandey, A., Neal, W. and Menzies, B. 2010. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD. Halaman 202 – 205.
- Steiner, C., Teixeira, W.G., Lehmann, J., Nehls, T., de Macedo, J. L. V., Blum, W. E. H. and Zech, W. 2007. Long effect of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on highly weathered central amazonian upland soil. *Plant and Soil* 291: 275-290.
- Tan, K.H. 2001. *Kimia Tanah*. Penerbit UGM Press. Yogyakarta. 90 hal.
- Tisdale, S. L., Nelson, W.K. and Beaton, J.D. 1990. *Soil Fertility and Fertilizer* Macmillan Pub. Co. New York. 100 p.
- Topoliantz, S., Ponge, J.F. and Ballof, S. 2007. Manioc peel and charcoal: a potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics. *Biology and Fertility of Soils* 41: 15–21
- Wang, S. Y., Tsai, M. H., Lo, S. F. and Tsai, M. J. 2008. Effects of manufacturing conditions on the adsorption capacity of heavy metal ions by Makino bamboo charcoal. *Bioresource Technology* 99: 7027–7033.
- Widowati, Utomo, W.H., Soehono, L.A. and Guritno, B. 2011. Effect of biochar on the release and loss of nitrogen from urea fertilization. *Journal of Agriculture and Food Technology* 1: 127-132.
- Widowati, Utomo, W.H., Guritno, B. and Soehono, L.A. 2012. The Effect of biochar on the growth and N fertilizer requirement of maize (*Zea mays* L.) in green house experiment. *Journal of Agricultural Science* 4 (5): 255 – 262.