

**PENGARUH ABU TERBANG BATUBARA DAN PUPUK KANDANG
TERHADAP LAHAN BEKAS TAMBANG BATUBARA
THE EFFECT OF COAL FLY ASH AND MAURE OF COW ON
COAL MINE LANDS**

Oleh Wiskandar

(Dibawah bimbingan : Prof. Dr. Ir. H. Amrizal Saidi, M.S.
Prof. Dr. Ir. Hj. Yulnafatmawita, M.Sc. dan Dr. Ir. H. Aprisal, M.Si.)

Abstrak

Pemanfaatan abu terbang batubara (*flay ash*) sebagai amelioran pada tanah lahan bekas tambang batubara, selain merupakan upaya memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah pasca tambang untuk mendukung pertumbuhan tanaman, dan juga merupakan tindakan pengendalian pencemaran lingkungan hidup oleh sisa pembakaran batubara sebagai sumber energi. Penelitian terhadap pemberian abu terbang dan pupuk kandang terhadap produktivitas tanah lahan bekas tambang batubara, pertumbuhan dan produksi jagung telah dilaksanakan pada tanah lahan bekas tambang PT. Nan Riang di Kecamatan Muara Tembesi Kabupaten Batang Hari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui takaran terbaik dari pemberian abu terbang dan pupuk kandang terhadap sifat fisika dan kimia tanah serta pertumbuhan dan produksi jagung.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium, rumah kaca, dan lahan bekas tambang batubara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa interaksi pemberian abu terbang sebanyak 45 ton ha⁻¹ dan pupuk kandang yang berasal dari kotoran sapi sebanyak 5% dari berat tanah adalah terbaik untuk perbaikan sifat fisika dan kimia tanah lahan bekas tambang batubara serta pertumbuhan dan produksi tanaman jagung.

Keyword: abu terbang, pupuk kandang, jagung.

Abstract

Utilization of coal fly ash as ameliorant on coal mined lands, in addition to the efforts to improve the physical and chemical properties of post-mining land to support the growth of plants, and also control an environmental pollution by the combustion of coal as an energy source. Research on the effect of fly ash and manure to the soil physical and chemical properties of coal mined lands as well as the growth and production of maize has been carried out on land mined lands the Nan Riang Company in Muara Batang Hari Tembesi. The purpose of this study was to determine the dose of fly ash and manure to the soil physical and chemical properties as well as the growth and production of corn.

This research was conducted in the laboratory, greenhouse, and land after the coal mine. The results showed that the interaction fly ash as much as 45 tons ha⁻¹ and manure from cow as much as 5% of the weight of the soil is the best for the improvement of soil physical and chemical properties of coal mined lands as well as the growth and production of corn

Keyword: fly ash, organic matter, zea mays.

Pendahuluan

Batubara merupakan sumberdaya alam tak terbarukan yang terdapat di bawah lapisan tanah dengan kedalaman dari permukaan tanah bervariasi, mulai dari singkapan permukaan hingga ± 40 meter. Sebagai bahan tambang, batubara yang merupakan salah satu sumber energi haruslah diangkat dari bawah permukaan tanah (ditambang) untuk dapat diproses menjadi energi. Di Indonesia, penambangan batubara sebagian besar dilakukan dengan metode penambangan terbuka (opened pit mining). Demikian pula halnya di Provinsi Jambi luas lahan tambang batubara sebesar 42.447 ha, yang potensinya mencapai 1,59 miliar ton setara dengan 2,75 % dari potensi batubara nasional sebesar 57,8 miliar ton, penambangan batubaranya dilakukan dengan metode penambangan terbuka, karena struktur geologi, sifat lapisan batuan penutup, dan keadaan lapisan batubara tidak mampu menyangga lapisan yang ada di atasnya.

Terjadinya degradasi tanah dan penurunan kualitas lahan yang disebabkan oleh penambangan batubara secara terbuka yang dikombinasikan dengan sistem backfilling yaitu pengisian kembali lubang bekas tambang adalah akibat pembuangan lapisan tanah penutup endapan batubara yang akan digali dan semua jenis tanah yang menutupi permukaannya, sehingga akan mempermudah pekerjaan penggaliannya disamping juga hasilnya akan relatif lebih bersih. Cara ini menyebabkan terjadinya kerusakan lahan, antara lain terjadinya perubahan morfologi bentang lahan dan penurunan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah. Menurut Subowo (2011), struktur tanah hasil penimbunan menjadi rusak, tanah lapisan atas bercampur ataupun terbenam di lapisan yang lebih dalam (tanah bagian atas yang subur digantikan oleh tanah lapisan bawah yang kurang subur), begitu juga populasi hayati tanah yang ada di tanah lapisan atas menjadi terbenam, sehingga hilang/mati dan tidak berfungsi sebagaimana mestinya, dan daya dukung tanah lapisan atas untuk pertumbuhan tanaman menjadi rendah.

Pemilihan terhadap jenis bahan amelioran untuk memperbaiki kimia tanah, sangat tergantung pada kemampuannya, jumlah ketersediaannya, dan kemudahan memperoleh bahan amelioran tersebut. Salah satu amelioran yang mampu memperbaiki kimia tanah yang ketersediaannya cukup banyak adalah limbah dari penggunaan batubara sebagai energi yaitu abu terbang dan bahan organik dari pupuk kandang. Jumlah abu terbang yang dihasilkan dari pembakaran batubara sebagai sumber energi dari berbagai penelitian dilaporkan lebih kurang 7 - 10 % dari total penggunaan. Sementara itu kebutuhan batubara domestik untuk tahun 2014 menurut perkiraan pemerintah mencapai 95.550.000 ton (Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2013). Dengan demikian kalau dihitung berdasarkan total kebutuhan batubara Indonesia pada tahun 2014 akan dihasilkan limbah padat abu terbang batubara $\pm 6.688.500$ ton.

PT. Permata Prima Elektrindo Jambi produksi abu terbangnya mencapai 350 ton bulan⁻¹. Abu ini biasanya dibuang di tempat pembuangan akhir atau ditumpuk begitu saja di dalam area industri sehingga dapat menimbulkan masalah terhadap lingkungan. Abu terbang sebagai sampah yang bermasalah di seluruh dunia. Namun abu terbang adalah amelioran yang berguna yang dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Jala and Goyal, 2006)

Pemberian abu terbang dapat digunakan untuk tujuan pengapuran karena mengandung CaO dan MgO. Kemampuan daya netralisasi dari abu terbang mempunyai variasi yang besar tergantung pada sumber abu dan proses pelapukan. Daya netralisasi abu terbang berkorelasi negatif dengan kandungan Fe dan Si dan berkorelasi positif dengan Ca dan Mg. Daya netralisasi abu terbang ekuivalen 20 -30 % CaCO₃ (Haynes, 2009).

Sementara itu, abu terbang limbah padat dari pembakaran batubara yang tidak dimanfaatkan secara optimal akan menjadi masalah serius bagi lingkungan hidup ditempat abu terbang dihasilkan. Butiran abu terbang tersebut mudah melayang dan terhisap oleh manusia dan hewan, sehingga terakumulasi dalam tubuh manusia dengan konsentrasi tertentu dapat memberikan akibat buruk bagi kesehatan. Oleh karena itu, pengembalian abu terbang batubara ketempat asal penambangan batubara, dalam kapasitas sebagai bahan yang dapat digunakan untuk mereklamasi lahan bekas tambang batubara karena kemampuannya dapat memperbaiki dan memulihkan sifat fisik dan kimia tanah, yang sekaligus juga merupakan upaya pengelolaan limbah padat bagi pembangkit listrik, industri semen, dan industri lain yang menggunakan batubara sebagai sumber energinya.

Bahan dan Alat

Penelitian dilakukan di rumah kaca menggunakan tanah komposit dari tanah bekas lahan tambang yang diambil dari bentang lahan baru buatan pada lahan bekas tambang batubara PT. Nan Riang di Desa Jebak Kecamatan Muara Tembesi Kabupaten Batang Hari dengan kedalaman pengambilan tanah 0 – 20 cm. Abu terbang merupakan limbah padat dari sisa pembakaran batubara sebagai sumber energi untuk pembangkit listrik PT. Permata Prima Elektrindo di Kabupaten Sarolangun, Jambi dan bahan organik berupa pupuk kandang sapi dengan tanaman indikator jagung.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini meliputi yakni; benih jagung Varietas Sukma Raga dari Balai Benih Induk Sebapo, Jambi, pupuk Urea (45%N), TSP (46% P₂O₅), KCl (50% K₂O), Dithane M-45. Sedangkan peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Pot percobaan dari polibag ukuran 15 kg, paralon 3/4 inci, cangkul, dan ring sampel, gembor, parang, meteran, kantong plastik, ember.

Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Rancangan Acak Lengkap (RAL) pola faktorial yang terdiri dari 2 faktor. Faktor pertama adalah abu terbang dengan dosis 6 level (0, 15; 30; 45; 60 dan 75 ton ha⁻¹) dengan simbol perlakuan yang dicobakan A dan bahan organik dengan dosis 2 level (0 dan 5% dari berat tanah) dengan simbol perlakuan yang dicobakan O. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga terdapat 36 satuan percobaan.

Parameter tanah yang diamati pH H₂O, Al-dd, N-Total, P-Tersedia, K-Total, Katian Basa Dapat Tukar, Kation Masam Dapat Tukar. Pengamatan terhadap tanaman meliputi pertumbuhan yakni pertumbuhan dan produksi tanaman.

Hasil dan Pembahasan

Hasil analisis kimia tanah pada lahan bekas tambang dalam penelitian ini kandungan karbon organik sangat rendah (0,29%), Aluminium dapat tukar (Al-dd; 2,65 cmol kg⁻¹) dengan reaksi tanah tergolong sangat masam (pH H₂O: 4,21), Kalium tersedia yang rendah (K₂O; 15,96 ppm), P-tersedia sangat rendah (P₂O₅; 2,40 ppm), N total sangat rendah (0,09 %), kapasitas tukar kation (KTK; 2,70 cmol kg⁻¹) termasuk kategori sangat rendah. Abu terbang dari PLTU PT. Permata Prima Elektrindo mempunyai (P₂O₅ : 10,92 % rendah), dan (K₂O : 0,15 % sangat rendah), CaO dan MgO (berturut-turut 4,53% dan 2,22%) serta unsur unsur lainnya juga rendah. Nilai pH H₂O abu terbang yang digunakan 10,92 atau bersifat alkalin. Sementara itu analisis unsur-unsur yang terkandung dalam pupuk kandang sapi menurut BPT (2005), terlihat kandungan C-organik (8,86 %) termasuk rendah, nitrogen total (0,46 %) sangat rendah, P₂O₅ (0,50 %) sangat rendah dan K₂O (0,32 %) sangat rendah.

1. pH H₂O dan Aluminium dapat dipertukarkan (Al-dd)

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa pemberian abu terbang dan bahan organik secara interaksi berpengaruh nyata terhadap peningkatan pH dan penurunan Al-dd. Rata-rata pH dan Al-dd tanah akibat pemberian abu terbang dan bahan organik disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh abu terbang dan bahan organik terhadap pH H₂O dan Aluminium dapat ditukarkan (Al-dd) tanah lahan bekas tambang di rumah kaca.

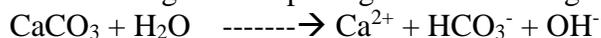
Bahan Organik (%)	Abu Terbang (ton ha ⁻¹)					
	0	15	30	45	60	75
	pH H ₂ O					
0	4,49 e	4,55 e	4,57 e	4,81 de	5,93 b	6,13 b
5	4,64 e	4,70 e	5,92 c	5,99 b	6,21 b	6,52 a
	Al-dd					
0	2,27 a	2,08 b	2,00 b	1,80 b	1,73 c	0,80 f
5	2,03 b	1,87 b	1,33 d	1,10 e	0,80 f	0,67 f

Ket. Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT (taraf $\alpha = 5\%$).

Pengaruh interaksi dari pemberian abu terbang dan bahan organik berpengaruh sangat nyata terhadap peningkatan nilai tanah pH H₂O. mulai terjadi pada perlakuan abu terbang dosis 30 ton per hektar dan bahan organik 5% dari berat tanah (nilai pH tanah 5,92). Peningkatan nilai pH H₂O (Tabel 1), yang terbaik terjadi akibat pemberian dosis abu terbang 75 ton per hektar yang dikombinasikan dengan bahan organik 5% dari berat tanah.

Tercapainya peningkatan nilai pH H₂O tetinggi (pH H₂O 6,52), akibat pengaruh interaksi dari perlakuan abu terbang 75 ton per hektar dan bahan organik 5% dari berat tanah menjadikan pH tanah percobaan rumah kaca masuk kategori pH netral menurut kriteria BPT, (2005). Hal ini disebabkan karena dengan pemberian abu terbang yang salah satu unsur di dalamnya adalah unsur CaO dan MgO akan mampu meningkatkan pH tanah yang digunakan. Hal ini didukung oleh Pung et al, (1978), kapur dalam abu terbang bereaksi dengan komponen kemasaman unsur hara tanah seperti S, B dan Mo dalam bentuk jumlah yang bermanfaat bagi tanaman. Peningkatan awal pH tanah setelah penambahan abu terbang karena pelepasan hara Ca, Na, Al, dan ion OH dari (Wong and Wong, 1990).

Peningkatan pH pada percobaan ini, sesuai dengan pendapat (Abbot *et. al.*, 2001), bahwa adanya penambahan amelioran (kapur) jelas akan meningkatkan kation-kation basa yaitu Ca dan Mg. Reaksi abu terbang yang mengandung kation-kation basa yang dibutuhkan tanaman, seperti kalsium dengan air dapat digambarkan sebagai berikut:



Dari reaksi hidrolisa ini akan disumbangkan ion OH⁻ sehingga pH tanah mengalami peningkatan.

Peningkatan pH juga karena kation-kation basa, seperti kalsium pada abu terbang mengalami pertukaran kation dengan koloid tanah (misel) yang banyak menyerap asam-asam organik seperti asam-asam humat. Reaksi pertukaran kation tersebut dapat digambarkan sebagai berikut:



Akibat adanya adsorpsi kalsium tersebut, maka persentase kejenuhan basa dari kompleks adsorpsi akan naik. Dengan demikian pH larutan tanah juga akan meningkat. Hal ini disebabkan

karena basa-basa dari abu terbang telah bereaksi dengan H^+ yang merupakan sumber keasaman tanah. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan Pathan. et al., (2003), bahwa perubahan pH akan nyata apabila diberikan cukup amelioran sehingga seluruh ion H^+ yang terjerap dapat digantikan oleh kation-kation basa, terutama oleh Ca^{2+} .

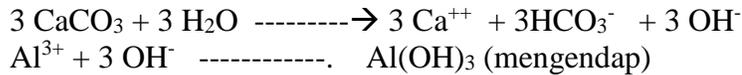
Penggunaan abu terbang pada tanah untuk meningkatkan pH tanah masam (Phung *et. al.*, 1979). Pemberian abu terbang dengan dosis optimum dapat menaikkan pH tanah sehingga unsur hara yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhan menjadi tersedia. Sebagaimana dijelaskan oleh Hart *et. al.* (2003), pemberian abu terbang dapat menaikkan pH tanah juga dapat memperbaiki sifat tanah dengan meningkatkan ketersediaan unsur-unsur makro dan mikro tanah seperti P, K, Ca, Mg, Zn, Cu dan Co.

Hal sejalan dengan menurut Foth, 1998., peningkatan nilai pH terjadi karena jumlah H^+ yang terlarut dinetralisasi oleh ion OH^- yang berasal dari hidrolisis kation-kation basa yang terdapat pada abu terbang, terutama kalsium dan sebagian H^+ yang dapat dipertukarkan terionisasi untuk mengembalikan keadaan yang seimbang. Jumlah H^+ yang dipertukarkan akan berkurang dengan perlahan-lahan sehingga H^+ terlarut akan menurun dan pH akan meningkat dengan perlahan.

Kandungan aluminium dapat dipertukarkan (Tabel 1), bahwa perlakuan abu terbang dan bahan organik interaksinya berpengaruh sangat nyata dalam menurunkan kandungan aluminium dapat dipertukarkan dalam tanah dari $2,27 \text{ cmol kg}^{-1}$ menjadi $0,67 \text{ cmol kg}^{-1}$. Pengaruh interaksi dari pemberian abu terbang dan bahan organik dicapai pada dosis abu terbang 15 ton per hektar dan bahan organik 5% dari berat tanah. Semakin tinggi pemberian dosis abu terbang dengan kombinasi dosis bahan organik yang sama (5% dari berat tanah) menunjukkan semakin menurun kandungan aluminium dapat dipertukarkan dalam tanah. Berdasarkan penurunan kandungan Al-dd bila dihubungkan dengan rentang dosis yang diberikan terlihat optimasi pengaruh interaksi tercapai pada A_4O_2 (60 ton per hektar abu terbang dan 5% bahan organik) dengan nilai rata-rata kandungan Al-dd $0,8 \text{ cmol kg}^{-1}$), meskipun kandungan al-dd terendah dicapai pada perlakuan A_5O_2 (75 ton per hektar abu terbang dan 5% bahan organik). Pernyataan optimasi ini pada perlakuan A_4O_2 karena tidak terdapat perbedaan pengaruhnya dengan perlakuan A_5O_2 .

Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin banyak kita berikan abu terbang dan bahan organik ke tanah bekas lahan tambang semakin rendah nilai aluminium yang dapat dipertukarkan pada tanah bekas lahan tambang. Peningkatan pH tanah akan berpengaruh terhadap konsentrasi Al-dd, dengan adanya peningkatan pH tanah akan mengurangi konsentrasi Al-dd di dalam tanah. Hal ini memberikan pengaruh yang terhadap sifat kimia tanah dan ketersediaan unsur-unsur yang dibutuhkan oleh tanaman. Terjadinya penurunan konsentrasi Al-dd yang tertinggi terjadi juga pada pemberian abu terbang sebanyak 75 ton per hektar dan pemberian pupuk kandang sebanyak 5 % dari berat tanah. Salah satu penyebabnya adalah adanya kandungan Ca sebanyak 4,53 % pada abu terbang, yang secara substitusi isomorfik akan menggantikan kedudukan Al. Hal ini yang menyebabkan konsentrasi Al di dalam larutan tanah menjadi berkurang. Selanjutnya juga, bahwa dengan pemberian pupuk kandang sebagai bahan organik, akan mengeluarkan asam-asam organik yang dapat mengkhelat Al sehingga konsentrasi Al menjadi berkurang.

Menurut Fail and Wochok (1977, *cit.* Adriano 1980) dengan pemberian abu terbang batu bara, kadar unsur Ca dan Mg meningkat, dan terjadi penurunan keracunan Al dan Mn seta logam berat lainnya pada pertanaman akibat penetrasi kemasaman tanah. Radjaguguk (1983) mengemukakan bahwa reaksi kapur di dalam tanah secara sederhana sebagai berikut :



Al^{3+} yang berasal dari larutan tanah akan bereaksi dengan OH^- dari hasil reaksi bahan kapur sehingga membentuk endapan Al(OH)_3 . Dengan demikian pemberian bahan kapur mengakibatkan pengendapan Al dalam bentuk Al(OH)_3 dan pada saat yang sama pH akan meningkat. Dengan demikian keracunan Al dapat teratasi sehingga pertumbuhan akar tanaman akan baik.

Penggunaan abu terbang sebagai amelioran dalam penelitian ini adalah untuk meningkatkan pH tanah terkait dengan CaO dan MgO yang dikandungnya (setara kapur). Peningkatan pH tanah oleh pengapuran, menurunkan ketersediaan logam berat (Alloway, 1995). Dijelaskan oleh Lindsay (1979), dengan naiknya pH, bentuk kation logam berubah menjadi bentuk-bentuk hidroksida atau oksida. Hal ini terjadi karena naiknya pH tanah dan meningkatnya muatan negatif permukaan mineral liat yang bermuatan tidak tetap. Kenaikan pH tersebut mengubah ion-ion logam menjadi senyawa-senyawa yang mengendap.

Dilaporkan bahwa penambahan bahan organik pada tanah masam, antara lain inceptisol, ultisol dan andisol mampu meningkatkan pH tanah dan mampu menurunkan Al tertukar tanah (Suntoro, 2001; Cahyani., 1996; dan Dewi, 1996).

Tabel 1 memperlihatkan bahwa dengan takaran 0, 15, 30, 45, 60, 75 ton/ha terjadi sedikit peningkatan nilai pH dan menurunkan Al dapat tukar. Peningkatan pH terjadi karena abu batubara mengandung CaO dan MgO, dimana CaO dan MgO dapat menetralkan ion-ion H^+ yang berasal dari dalam tanah dengan demikian semakin tinggi takaran abu batubara yang diberikan, maka semakin besar jumlah CaO dan MgO yang diberikan ke dalam tanah, sehingga penetralan ion-ion H^+ yang berasal dari dalam tanah juga semakin banyak.

Abu terbang bersifat basa (mempunyai pH 10-13) dan mengandung kation-kation yang diperlukan tanaman seperti Ca, Mg, Zn, K, dan P serta tidak mengandung logam-logam berat yang berbahaya bagi tanah dan tanaman, sehingga dapat dijadikan amelioran untuk memperbaiki sifat kimia tanah. Abu terbang dapat merubah pH tanah, meningkatkan hasil produksi, dan sebagai penambah unsur-unsur hara mikro seperti Fe, Zn, Cu, Mo, B, dan lain-lain serta unsur-unsur hara makro seperti K, P, Ca, dan lain-lain menurut Wasim (2005)

2.Kandungan C-organik, Nitrogen Total, Posfor-tersedia dan Kalium-tersedia

Hasil analisis C-organik, N total tanah, P tersedia dan Kalium tersedia akibat pemberian abu terbang dan bahan organik di rumah kaca disajikan pada Tabel 2 dan 3 dibawah ini.

Pengaruh interaksi pemberian abu terbang dan bahan organik terhadap C-organik dan kandungan nitrogen yang terlihat pada Tabel 2 belum memperlihatkan pengaruh yang nyata, namun pengaruh tunggal pemberian abu terbang maupun bahan organik telah memperlihatkan pengaruh yang nyata. Hal ini disebabkan karena abu terbang mempunyai kandungan nitrogen yang sangat kecil karena teroksidasi membentuk gas selama pembakaran, dan disamping itu nitrogen yang terkandung dalam pupuk kandang yang diberikan sebagai bahan organik sebesar 0,46 % (sangat rendah) dari analisa pupuk kandang.

Tabel 2. Pengaruh abu terbang dan bahan organik terhadap C-organik dan N total tanah lahan bekas tambang batubara di rumah kaca

Amelioran	C-organik (%)	N Total (%)
Abu Terbang		
A5	0,82 a	0,07 a
A4	0,59 ab	0,05 ab
A3	0,47 ab	0,05 ab
A2	0,44 ab	0,05 ab
A1	0,41 ab	0,05 ab
A0	0,36 b	0,04 b
Bahan Organik		
O2	0,92 a	0,09 a
O0	0,62 b	0,07 b

Angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kolom yang sama berbeda nyata menurut uji DNMR (taraf $\alpha = 5\%$)

Tabel 3. Pengaruh abu terbang dan bahan organik terhadap P_2O_5 dan K_2O tanah lahan bekas tambang batubara di rumah kaca

Bahan Organik (%)	Abu Terbang (ton ha ⁻¹)					
	0	15	30	45	60	75
P_2O_5 (ppm)						
0	3,00 d	5,67 d	8,67 d	10,33 d	14,00 d	20,67 d
5	19,33 d	25,33 d	32,33 cd	60,67 bc	88,67 ab	103,00 a
K_2O (ppm)						
0	41,00 h	44,00 gh	48,00 g	62,00 f	63,67 ef	79,67 c
5	51,00 g	50,00 g	67,67 de	90,67 ab	85,00 b	91,00 a

Ket. Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT (taraf $\alpha = 5\%$).

Seperti karbon, abu terbang tidak banyak menyumbangkan N ke tanah, karena kandungan total N batubara akan hilang ketika batubara mengalami pembakaran, sehingga kandungan N yang dimiliki oleh abu terbang sangat sedikit bahkan jumlahnya dapat diabaikan. Penambahan abu batubara dan bahan organik ke dalam tanah dapat mempercepat proses mineralisasi bahan organik (khan and Khan, 1996), sehingga meningkatnya ketersediaan nitrogen.

Hasil analisis P-tersedia dalam tanah akibat pemberian perlakuan abu terbang dan bahan organik pada tanah lahan bekas tambang menunjukkan pengaruh yang nyata dimana pemberian abu terbang sebanyak 75 ton ha⁻¹ dan bahan organik 5% dari berat tanah mempunyai nilai tertinggi yakni 103 ppm jika dibandingkan dengan kontrol yakni 3 ppm. Terjadi peningkatan P tersedia di dalam tanah dengan meningkatnya pemberian dosis abu terbang dari 3,00 ppm (kontrol) menjadi 103,00 ppm (abu terbang 75 ton per hektar dan bahan organik 5% dari berat), namun pengaruh perlakuan abu terbang yang diberikan sebanyak 60 ton per hektar dan bahan organik 5% dari berat belum menunjukkan perbedaan dengan perlakuan abu terbang 75 ton per hektar dan bahan organik 5% dari berat, meskipun nilai P tersedia tertinggi terjadi pada

perlakuan 75 ton per hektar. Dengan demikian, optimasi pemberian perlakuan abu terbang tercapai pada perlakuan dengan dosis 60 ton per hektar.

Hasil penelitian Lee *et. al.*, (2007) melaporkan bahwa pada tanah yang diberi abu batubara dengan jumlah 120 t ha^{-1} di Korea Selatan dapat menyebabkan peningkatan P dalam tanah karena disebabkan terjadinya kenaikan pH tanah. Nyapka dkk., (1991), bahwa ketersediaan P tanah sangat dipengaruhi oleh pH tanah, pada kebanyakan tanah ketersediaan P maksimum dijumpai pada kisaran pH antara 5,5-7, ketersediaan P akan menurun bila pH tanah lebih rendah dari 5,5 atau lebih tinggi dari 7,0.

Salah satu sumber unsur hara di dalam tanah adalah yang berasal dari bahan yang kita berikan ke dalam tanah, dalam hal ini abu terbang dan pupuk kandang. Hasil dekomposisi bahan pupuk kandang juga akan menghasilkan unsur-unsur tersebut diatas selain asam-asam organik yang mampu mengkhelat Al sehingga akan mengurangi pengaruh Al terhadap ketersediaan unsur lainnya. Peningkatan asam humik dan asam fulvik yang tinggi juga akan menyelimuti Fe/Al sehingga mengurangi jerapan P (Halvin *et. al.*, 1999). Akhirnya akibat dari pemberian pupuk kandang akan meningkatkan P tersedia dan K-dd.

Pada Tabel 3 terlihat kandungan P_2O_5 semakin meningkat dengan meningkatnya dosis pemberian abu terbang maupun peningkatan pemberian bahan organik. Hal ini disebabkan karena kandungan P_2O_5 yang terdapat dalam abu terbang dan dalam bahan organik itu sendiri serta disebabkan oleh peningkatan pH sehingga ketersediaan P_2O_5 semakin tersedia bagi tanaman. Miller and Donahue (1990), menyatakan penambahan bahan organik berpengaruh langsung karena bahan organik merupakan sumber P dan S tersedia dalam tanah

Hasil pengukuran K tersedia dalam tanah setelah mendapat perlakuan abu terbang dan bahan organik disajikan pada Tabel 3, memperlihatkan bahwa pengaruh interaksi antara pemberian abu terbang dan pemberian bahan organik terhadap K tersedia (K_2O) menunjukkan pengaruh yang sangat nyata. Kandungan K_2O tertinggi (Tabel 2) tercapai pada interaksi antara perlakuan 75 ton per hektar abu terbang dan 5% bahan organik dari berat tanah (nilai rata-rata K tersedia 91 ppm). Pengaruh interaksi antara perlakuan abu terbang dan bahan organik mulai terjadi pada dosis abu terbang 15 ton per hektar, 5% bahan organik dari berat tanah. Semakin tinggi dosis abu terbang dan bahan organik 5% menyebabkan K tersedia di dalam tanah juga semakin meningkat. Optimasi interaksi dari kedua perlakuan ini terjadi pada perlakuan A4O2 (60 ton per hektar abu terbang dan 5% bahan organik dari berat tanah) dengan nilai rata-rata K tersedia 85,00 ppm.

Pemberian abu terbang sebanyak 75 ton per hektar dan pupuk kandang sebanyak 5 % dari berat tanah memberikan peningkatan jumlah konsentrasi P_2O_5 dan K_2O dari tanah yang digunakan untuk penelitian ini.. Peningkatan itu disebabkan antara lain adanya penambahan senyawa P_2O_5 sebanyak 4,53 % dan juga K_2O sebanyak 0,15 % dari kandungan yang ada pada abu terbang itu sendiri. Disamping itu juga penambahan unsur tersebut karena adanya perbaikan sifat kimia tanah sebelumnya yaitu peningkatan pH tanah dan penurunan konsentrasi Al-dd. Perbaikan sifat kimia tersebut akan menyebabkan peningkatan terhadap ketersediaan unsur P_2O_5 dan K_2O tanah. Hal ini dijelaskan oleh beberapa hasil penelitian yang menyatakan bahwa dengan pemberian kapur dan bahan organik akan menyebabkan terjadinya peningkatan unsur P dan K di dalam tanah.

3. Kandungan Magnesium dapat dipertukarkan

Tabel 4.. Pengaruh abu terbang dan bahan organik terhadap Ca-dd, Mg-dd dan KTK tanah lahan bekas tambang batubara di rumah kaca

Bahan Organik (%)	Abu Terbang (ton ha ⁻¹)					
	0	15	30	45	60	75
Ca-dd (cmol kg ⁻¹)						
0	0,20 g	0,80 f	1,28 d	1,15 d	3,69 ab	3,65 b
5	1,04 de	1,31 cd	1,79 c	3,69 ab	3,83 a	3,99 a
Mg-dd (cmol kg ⁻¹)						
0	0,37 h	0,71 fg	0,37 h	0,47 h	0,57 gh	0,78 de
5	0,26 h	0,77 ef	0,86 bc	0,82 cd	1,06 a	1,05 a
Kapasitas Tukar Kation (cmol kg ⁻¹)						
	0	15	30	45	60	75
0	2,29 d	2,33 cd	2,42 c	2,44 c	2,30 d	3,19 a
5	2,54 c	2,48 c	2,56 bc	2,91 ab	2,70 b	2,68 b

Ket. Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT (taraf $\alpha = 5\%$).

Hasil pengukuran magnesium dapat dipertukarkan dari tanah yang telah diberi perlakuan abu terbang dan bahan organik pada percobaan rumah kaca disajikan pada Tabel 3. memperlihatkan pengaruh interaksi sangat nyata terhadap Mg dapat dipertukarkan (Mg-dd). Kandungan Mg-dd tertinggi (Tabel 4) terjadi akibat pengaruh interaksi dapat dilihat akibat pengaruh pemberian abu terbang sebesar 60 ton per hektar dan pemberian bahan organik sebesar 5% dari berat mempunyai nilai rata-rata sebesar 1,06 cmol kg⁻¹ (kriteria sangat tinggi menurut BPT, 2005), akan tetapi tidak berbeda nyata dengan abu terbang 75 ton per hektar dan 45 ton per hektar dengan bahan organik 5%. Peningkatan ini disebabkan oleh karena abu terbang yang kita gunakan mengandung unsur Mg sebanyak 2,2 %, Na 0,03 % dan unsur-unsur lainnya.

Pengaruh interaksi dari pemberian perlakuan abu terbang dan bahan organik terhadap magnesium dapat dipertukarkan seperti yang terlihat pada notasi dalam Tabel 4 dimulai pada perlakuan abu terbang 15 ton per hektar dan bahan organik 5% dari berat tanah. Optimasi pengaruh interaksi dari perlakuan abu terbang dan bahan organik terjadi pada perlakuan abu terbang 60 ton per hektar dan bahan organik 5% dari berat (Mg-dd 1,06 cmol kg⁻¹). Hal ini dikarenakan pengaruh interaksi pemberian abu terbang 75 ton per hektar dan bahan organik 5% nilai Mg-dd lebih rendah (1,05 cmol kg⁻¹) dari pada kombinasi perlakuan 60 ton per hektar.

Pengujian sidik ragam terhadap pengaruh interaksi seperti yang terlihat pada notasi dalam Tabel 4 telah berpengaruh nyata terhadap nilai kapasitas tukar kation tanah jika dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Pengaruh interaksi dari perlakuan abu terbang dan bahan organik yang berpengaruh nyata dalam meningkatkan nilai kapasitas tukar kation tanah mulai terjadi pada perlakuan abu terbang 15 ton per hektar dan bahan organik 5%, meskipun tidak terdapat linieritas pengaruh peningkatan dosis terhadap peningkatan KTK tanah. Pengaruh interaksi dari perlakuan yang tertinggi terhadap peningkatan KTK tanah terjadi pada perlakuan abu terbang 75 ton per hektar (KTK; 3,19 cmol kg⁻¹). Optimasi pengaruh interaksi dari perlakuan dapat tercapai pada dosis 45 ton per hektar dan 5% bahan organik dari berat tanah (KTK; 2,91 cmol kg⁻¹).

Dengan adanya pemberian abu terbang dan pupuk kandang akan menambah jumlah kation basa yang ada di dalam tanah yang berasal dari kandungan abu terbang dan juga hasil dekomposisi bahan organik. Disamping itu juga dengan adanya pemberian abu terbang dan pupuk kandang akan meningkatkan KTK tanah. Dimana faktor-faktor yang mempengaruhi KTK tanah adalah pH tanah, tekstur tanah, jenis mineral liat, pengapuran, pemberian bahan organik dan pemupukan. Hal ini dapat dilihat dari beberapa pendapat terhadap pemberian bahan organik terhadap KTK tanah menurut Wigati et al., (2006) pemberian pupuk kandang dapat meningkatkan KTK tanah. Peningkatan KTK akan meningkatkan kemampuan tanah untuk mengikat K, sehingga K akan terhindar dari pencucian. Hasil penelitian Sukristiyonubowo dkk., (1993) tanah yang ditambah bahan organik mampu menekan laju penurunan nilai KTK tanah dibandingkan dengan tanah yang tidak mendapat tambahan bahan organik. Bahan organik dalam tanah selain menyumbangkan sebagian KTK juga menyerap logam berat dalam bentuk kompleks (Alloway, 1995).

Kapasitas tukar kation merupakan gambaran kemampuan permukaan koloid tanah untuk mengadsorpsi berbagai kation dari proses pencucian. Tinggi rendahnya KTK ditentukan oleh kandungan dari tipe liat tanah serta kandungan bahan organik yang telah mengalami dekomposisi secara sempurna. Peningkatan KTK tanah akan menaikkan nilai kesuburan tanah, demikian juga terhadap respon pemupukan. Dengan kata lain efisiensi pemupukan lebih tinggi pada tanah yang mempunyai KTK yang tinggi. Secara kimia memberikan keuntungan menambah unsur hara terutama NPK dan meningkatkan KTK serta secara biologi dapat meningkatkan aktifitas mikroorganisme tanah (Allison, 1973).

Abu terbang diketahui memiliki jumlah kation-kation basa seperti Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), Kalium (K), dan Natrium (Na) yang tinggi. Ca merupakan kation yang terdapat dalam abu terbang dalam jumlah paling tinggi dibandingkan tiga kation basa yang lain. (Haynes, 2009). Keberadaan Ca juga berpengaruh terhadap aktivitas mikroba tanah dan pH tanah serta perkembangan jaringan tanaman. Begitu pula dengan Mg yang merupakan kation basa dengan jumlah tertinggi kedua setelah Ca. Tingginya Mg yang dikandung oleh tanah juga bergantung dengan tipe abu terbang C dan F. Dengan tingginya kandungan Ca dan Mg pada batubara, maka tidak perlu lagi dilakukan pengapuran dalam kegiatan budidaya pertanian karena kation basa Ca dan Mg dalam tanah dapat menekan kejenuhan ion Al dan Fe pada larutan tanah. Kalium juga merupakan kation basa yang kandungannya cukup tinggi setelah Ca dan Mg pada abu terbang.

4. Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung

Pertumbuhan tanaman sangat ditentukan oleh kondisi tanah sebagai media tumbuh dalam menyediakan perharahan dan sifat fisik yang membuat perakaran tanaman berkembang dengan baik. Tinggi tanaman adalah salah satu parameter yang menggambarkan pertumbuhan tanaman yang dipengaruhi oleh kimia tanah. Hasil pengukuran tinggi tanaman jagung pada percobaan rumah kaca disajikan pada Tabel 5 berikut ini.

Pengujian sidik ragam terhadap rata-rata nilai pengukuran tinggi tanaman jagung menunjukkan bahwa pengaruh interaksi berbeda sangat nyata terhadap tinggi tanaman. Hasil pengukuran tertinggi dari nilai rata-rata tinggi tanaman jagung terjadi karena pengaruh abu terbang 75 ton per hektar dan bahan organik 5% berat tanah (tinggi tanaman; 132,67 cm). Tidak terdapat perbedaan pengaruh antara masing-masing dosis 75 ton, 45 ton dan 30 ton per hektar dengan bahan organik 5%, akan tetapi nilai rata-rata tinggi tanaman semangkin meningkat dengan bertambahnya dosis

perlakuan. Pengaruh interaksi sangat nyata dalam meningkatkan tinggi tanaman antara perlakuan abu terbang dan bahan organik dengan tanpa perlakuan (kontrol).

Tabel 5. Pengaruh abu terbang dan bahan organik terhadap tinggi tanaman jagung dan berat biji jagung per bongkol di rumah kaca

Bahan Organik (%)	Abu Terbang (ton ha ⁻¹)					
	0	15	30	45	60	75
Tinggi tanaman jagung (cm)						
0	103,33 e	104,33 de	113,00 cd	118,00 b	122,33 b	128,67 a
5	118,00 bc	126,67 ab	129,67 a	132,33 a	124,67 b	132,67 a
Berat biji jagung (g pot ⁻¹)						
0	80,00 c	83,00 c	87,00 c	85,67 c	91,00 c	89,00 c
5	80,33 c	83,67 c	88,93 c	92,67 b	95,70 a	94,57 a

Ket. Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom dan baris yang sama tidak berbeda nyata menurut uji DMRT (taraf $\alpha = 5\%$).

Tabel 5 menunjukkan bahwa pemberian abu terbang dan bahan organik memperlihatkan pengaruh yang nyata terhadap berat pipilan biji per bongkol. Pemberian abu terbang 60 ton/ha dan bahan organik 5% dari berat memperlihatkan perbedaan yang nyata dengan perlakuan abu terbang 45 ton/ha dan bahan organik 5% berat, tetapi pada perlakuan abu terbang 60 ton/ha dengan perlakuan abu terbang 75 ton/ha belum memperlihatkan perbedaan yang nyata sesamanya. Untuk perlakuan abu terbang 60 ton/ha dan bahan organik 5% merupakan berat pipilan jagung yang paling tinggi (95,70 g bongkol⁻¹)

Peningkatan pertumbuhan tanaman tinggi tanaman dan berat pipilan jagung disebabkan karena peningkatan jumlah hara nitrogen, posfor dan kalium yang diserap oleh tanaman jagung. Sesuai menurut Junita dkk., (2002) pertumbuhan tanaman tidak terlepas dari ketersediaan unsur hara yang ada didalam tanah, ketersediaan hara akan sangat menentukan produksi berat berangkas kering tanaman yang merupakan hasil dari tiga proses yaitu proses penumukan asimilat melalui fotosintesis, penurunan asimilat melalui respirasi dan penurunan asimilat akibat suspensi dan akumulasi sebagian penyimpanan. Pada fase ini tanaman sangat membutuhkan suplai hara P yang cukup. Hakim dkk., (1986) mengatakan bahwa fosfor merupakan salah satu unsur yang berfungsi untuk mempercepat pembungaan serta pematangan biji dan buah. Sehingga dengan ketersediaan P yang rendah akan berpengaruh pada bobot buah yang dihasilkan.

Penambahan abu batu bara sebesar 60 t ha⁻¹ dan bahan organik 5% dari berat tanah mampu meningkatkan tinggi tanaman meningkatkan tinggi tanaman. Akan tetapi ketika dosis abu batubara yang ditambahkan peningkat tinggi tanaman tidak signifikan. Peningkatan pertumbuhan tanaman disebabkan peningkatan jumlah hara nitrogen, posfor dan kalium yang diserap oleh tanaman jagung. Penambahan abu batubara dan bahan organik ke dalam tanah dapat mempercepat proses mineralisasi bahan organik (khan and Khan, 1996), sehingga meningkatnya ketersediaan nitrogen. Lee *et. Al.*, (2007) melaporkan bahwa pada tanah yang diberi abu batubara dengan jumlah 120 t ha⁻¹ di korea selatan dapat menyebabkan peningkatan P dalam tanah karena disebabkan terjadinya kenaikan pH tanah. Selanjutnya hasil penelitian Swain *et. al.*, (2007) pada tanaman padi dan kacang tanah menunjukkan bahwa pemberian abu batubara pada tanaman padi dan kacang tanah dapat meningkatkan serapan hara N, P dan K sebesar 106 – 149 %.

Dengan semakin tinggi dosis abu terbang yang diberikan maka suplai hara untuk tanaman akan semakin banyak. Selain itu penyebab lainnya diduga berkaitan dengan tingkat toleransi

tanaman tersebut terhadap tingkat kemasaman tanah. Pemberian abu terbang dengan dosis optimum dapat menaikkan pH tanah sehingga unsur hara yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhan menjadi tersedia. Sebagaimana dijelaskan oleh Hart *et al.* (2003), pemberian abu terbang dapat menaikkan pH tanah juga dapat memperbaiki sifat tanah dengan meningkatkan ketersediaan unsur-unsur makro dan mikro tanah seperti P, K, Ca, Mg, Zn, Cu dan Co.

Menurut Doran *et al.*, (1972); Page *et al.*, (1977), pemanfaatan abu terbang dapat berdampak baik bagi pertumbuhan tanaman dan sifat-sifat tanah. Pada tanah-tanah masam pemberian abu terbang batubara dapat meningkatkan hasil alfalfa, dan meningkatkan pH tanah dan menurunkan ketersediaan Mo. Hal ini didukung pendapat Rini (2005), dengan pemberian abu terbang yang berfungsi sebagai amelioran dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah, dimana abu terbang telah dapat membuat tanah gambut menjadi produktif dengan cara peningkatan pH dan ketersediaan unsur hara pada tanah gambut.

Peran disamping Ca dan Mg dapat mengurangi pengaruh negatif Al dan Fe, juga berfungsi untuk pembelahan sel, pembentukan klorofil dan membentuk enzim aktivator dalam tanaman (Suseno, 1974; Frank dan Cleon, 1995). Nyapka dkk., (1991) menyatakan bahwa unsur Mg selain sebagai mineral penyusun klorofil juga dapat dijumpai dalam biji-bijian tanaman dalam jumlah yang cukup banyak.

Kesimpulan

Pengaruh interaksi pemberian abu terbang dan bahan organik sebagai amelioran pada tanah bekas lahan tambang batubara di rumah kaca belum memperlihatkan pengaruh yang nyata terhadap perubahan sifat kimia tanah C-organik, dan N-total, tetapi berpengaruh nyata terhadap meningkatkan pH H₂O (4,49 – 6,52), Pospor tersedia (3 ppm – 103 ppm), Kalium tersedia (41 ppm – 91 ppm), Calcium dapat dipertukarkan 0,20 cmol kg⁻¹ – 3,99 cmol kg⁻¹, Magnesium dapat dipertukarkan (0,37 cmol kg⁻¹ – 1,06 cmol kg⁻¹), Kapasitas Tukar Kation tanah dan dapat menurunkan Al-dd (2,27 – 0,67).

Pemberian abu terbang sebanyak 60 ton ha⁻¹ dan bahan organik yang berasal dari kotoran sapi sebanyak 5% dari berat tanah adalah terbaik untuk pertumbuhan dan produksi jagung dengan berat pipilan jagung 95,70 g pot⁻¹, sedangkan pot yang tidak diberi abu terbang dan bahan organik hanya 80,00 g pot⁻¹.

Daftar Pustaka

- Abbot, D.E; Essinton, M.E; Ammons, J.T. 2001. Fly ash and Lime-Stabilized biosolid mixtures in mine spoil reclamation, *Journal of environmental quality*, Vol. 30; p 608-616.
- Allison, F.E., 1973. *Soil Organic Matter and Its Role in Crop Production*. Elsevier scientific Publishing Co., Amsterdam VI + 637p.
- Alloway, B.J., 1995. In: *Heavy Metals in Soil*, second ed. Blackie, London.
- Balai Penelitian Tanah. 2005. *Petunjuk Teknis Analisis Kimia Tanah, Tanaman Air dan Pupuk*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian. Bogor.
- Cahyani, V.R. (1996). *Pengaruh Inokulasi Mikorisa Vesikular-Arbuskular Dan perimbangan Takaran Kapur Dengan Bahan Organik Terhadap Pertumbuhan Tanaman Jagung Pada Tanah Ultisol Kentrong*, Tesis. Pasca Sarjana UGM, Yogyakarta.

- Dewi, W.S. (1996) *Pengaruh Macam Bahan Organik dan Lama Prainkubasinya Terhadap Status P Tanah Andisol*. MS. thesis, UGM, Yogyakarta.
- Doran, J. W. and D. C. Martens, 1972. Molybdenum Availability as Influenced by Application of Fly Ash to Soil. *J. Environ. Qual.*, 1(2):186-189.
- Fail, J.L. and Wochok, Z.S. (1977) Soyabean growth on flyash amended strip mine soil. *Plant Soil*, 48, 473
- Foth, D. Hendry, *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*, Gajah Mada, University Press, Jogjakarta, 1998.
- Frank, B.S. and Cleon W. Ross (terjemahan R. Lukman dan Sumaryono). 1995. *Fisiologi Tumbuhan* ITB. Bandung, P. 145-146.
- Hakim, N. M. Y. Nyakpa, A. M. Lubis, S. G. Nugroho, A. Diha, G. B. Hong dan H. H. Bailey. 1986. *Dasardasar Ilmu Tanah*. Universitas Lampung. 488 halaman
- Hart, B.R., Hayden, D.B., Powell, M., 2003, "Evaluation of Pulverized Fuel Ash Mixed with Organic Matter to Act as a Manufactured Growth Medium", International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research, University of Kentucky, Lexington, Kentucky, 2003. 119
- Harvin, J.L., S.M Tisdale., W.L Nelson, and J.D. Beaton. 1999. Soil Fertlty and Fertilizer. An Introduction to Nutrient Management. Prentice Hall, Inc. 449 p
- Haynes. R.J. 2009. Reclamation and revetation of the fly ash disposal sites-challenges and research needs (reviews) *journal of environmental Management* 90: 43 – 53.
- Jala. S., D. Goya. 2006. Fly ash as a soil ameliorant for improving crop production—a review Department of Biotechnology and Environmental Sciences, Thapar Institute of Engineering and Technology, Deemed University, Patiala 147 004, Punjab, India.
- Junita, F., S. Nurhayatini, dan D. Kastono. 2002. Pengaruh frekuensi penyiraman dan tarakan pupuk kandang terhadap pertumbuhan dan hasil pakchoi, *Jurnal Ilmu Pertanian Universitas Gajah Mada*. I (9) ; 37-45.
- Khan, R.K, and M. W. Khan. 1996 The effect of fly ash on plant growth and yield of tomato *Environmental Pollution* 92, 105-111.
- Lee, C. H., H. Lee, Y. B. Lee, H. H. Chang, M. A. Ali, W. Min, S. Kim and P. J. Kim. 2007. Increase of available phosphorus by fly ash application in paddy soil. *Communications in soil Science and Plant Analysis* 38, 1551-1562.
- Lindsay, W.L., Norvell, W.A. Development of a DTPA test for zinc, iron, manganese, and copper. *Soil Science Society of American Journal*. 1978:42:421-28.
- Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Keputusan Menteri Energi Dan Sumber Day A Mineral. NOMOR: 2901 K/30/MEM/2013. 2013. Penetapan Kebutuhan Dan Persentase Minimal Penjualan Batubara Untuk Kepentingan Dalam Negeri Tahun 2014.
- Miller, R.H ., and R .L . Donahue, 1990 *Soils . An Introduction to soil and plant growth* .Sixt Edition. Printice Hall Inc . Englewood Cliffs, NJ .
- Nyapka., M.Y. A.M. Lubis, M.A. Pulung, G. Amrah, A. Munawar, G.B. Hong, N. Hakim. 1991. *Metode Selidik Tanah*. Penerbit Universitas Lampung.
- Page, A.L., Elsewi, A.A., Straugham, I., 1979. Physical and chemical properties of flyash from coal fired plants with reference to environmental impacts. *Residue Rev.* 71, 83–120.
- Pathan, S.M; Aylmore, L.A.G; Colmer, T.D, 2003, Properties of several fly ash materials in relation to use as soil amendments, *Jounal of environmental quality*. Vol 32, p 687-693.

- Phung, H.T., Lund, I.J. and Page, A.L. (1978) Potential use of flyash as a liming material in Environmental Chemistry and Cycling Processes, Conf. 760429, Adriano, D.C. and Brisbin, I.L., Eds. U.S. Department of Energy, 504.
- Radjagukguk, B. 1983. Masalah Pengapuran Tanah Mineral Masam di Indonesia. Makalah Seminar Masalah Tanah Mineral Masam di Indonesia. Fakultas Pertanian. UGM. Yogyakarta.
- Rini. 2005. Penggunaan Dregs (Limbah Bagian Recauticizing Pabrik Pulp) dan Fly ash (Abu Sisa Boiler Pembakaran Pabrik Pulp) untuk Meningkatkan Mutu dan Produktivitas Tanah Gambut. Laporan Penelitian. Lembaga Penelitian Universitas Riau. Pekanbaru.
- Subowo. G. 2011. Penambangan sistem terbuka ramah lingkungan dan upaya reklamasi pasca tambang untuk memperbaiki kualitas sumberdaya lahan dan hayati tanah. Jurnal Sumberdaya Lahan. Vol. 5 No. 2
- Sukristiyonubowo, Mulyadi, Putu Wigena, dan A. Kasno, 1993. Pengaruh penambahan bahan organik, kapur, dan pupuk NPK terhadap sifat kimia tanah dan hasil kacang tanah . Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk . Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor .
- Suntoro, 2001. Pengaruh Residu Penggunaan Bahan Organik, Dolomit dan KCl pada Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaeae*. L.) pada Oxic Dystrudept di Jumapolo, Karanganyar, *Habitat*, 12(3) 170-177.
- Suseno, H. 1974. Fisiologi Tumbuhan Metabolisme Dasar. IPB. Bogor, 227 hlm.
- Wasim, A. 2005. *Fly Ash Use in Agriculture : A Perspective*. <http://tifac.org.in> [diakses tanggal 23 Mei 2010]
- Wigati, E.S., A. Syukur, dan D.K. Bambang. 2006. Pengaruh Takaran Bahan Organik dan Tingkat Kelengasan Tanah Terhadap serapan Fosfor ole Kacang Tunggak di Tanah Pasir Pantai. *J. I. Tanah Lingkungan*. 6 (2): 52-58.
- Wong, J.W.C., Wong, M.H., 1990. Effects of fly-ash on yields and elemental composition of two vegetables, *Brassica parachinensis* and *B. chinensis*. *Agric. Ecosys. Environ.* 30, 251–264.

