

## PERANAN ARANG BATANG KELAPA SAWIT DALAM PENINGKATAN PRODUKSI TANAMAN JAGUNG (*ZEA MAYS*, L.)

Febrianti

Dosen Jurusan Agroteknologi Sekolah Tinggi Teknologi Pelalawan,  
Email:febrihalim@yahoo.com

### ABSTRACT

The main problem of continuously cultivated land is decreasing land productivity. Improvement of land productivity can be done by application of suitable soil ameliorant. Charcoal is one of soil ameliorants that can be used for improving soil properties such as to stimulate plant growth by providing and maintaining nutrients in the soil due to improving soil physical and biological properties. Abundant availability of oil palm trunks when oil palm replanting is an opportunity to utilize oil palm trunks as charcoal raw material. This research aimed to study the effect of charcoal from oil palm trunks on corn growth and production. Soil material was taken from Latosol at a depth of 0-20 cm. The soil material was treated by charcoal from oil palm trunks as much as 0%, 4%, 8%, 12%, 16% and 20% (w/w) of the soil. The soil also was added by basic N, P, and K fertilizers and then corn was planted. The results showed that soil treated by 4% of charcoal from oil palm trunks increased significantly corn growth and production. Application of higher charcoal rates did not increase the growth and production of corn, and moreover tended to decrease at 20% charcoal treatment. Biomass production of corn increased significantly compared to untreated charcoal. The porous structure of charcoal improve the structure of soils which allows roots capable to utilize more available nutrients as indicated by the evidence of more roots in the soil containing charcoal and increasing corn production.

*Key words* : charcoal., oil palm trunks., corn production., soil ameliorant

### PENDAHULUAN

#### Latar Belakang

Penggunaan arang sebagai bahan amelioran tanah sudah dilakukan sejak lama oleh masyarakat pada masa lalu di berbagai kawasan. Tanah hitam di daerah Amazon yang disebut sebagai *terra preta* merupakan salah satu bukti tentang pemanfaatan arang. *Terra preta* merupakan tanah buatan yang banyak mengandung senyawa karbon dengan kadar dua puluh kali lebih tinggi dibandingkan tanah mineral lainnya serta mengandung kadar nitrogen (N) dan fosfor (P) tiga kali lebih tinggi (Lehmann, 2007).

Keberadaan arang mampu memacu aktivitas kehidupan mikrobiologi tanah, terutama yang berasosiasi dengan akar tanaman, mampu meningkatkan kapasitas tukar kation tanah karena adanya pori mikro di dalam struktur arang dan resin perekatnya, mampu meningkatkan konservasi unsur hara mudah larut sehingga pencucian hara menjadi kecil (Steinbeisset *et al.*, 2009). Efek peningkatan kandungan karbon dalam tanah lebih bertahan lama pada penambahan arang dibandingkan penambahan pupuk lainnya (Knicker, 2011).

Pemberian arang sebanyak 4 ton/ha terbukti dapat meningkatkan konduktivitas hidrolis *top soil* atau lapisan permukaan tanah dan meningkatkan hasil gabah padi gogo pada kandungan tanah yang rendah fosfor (P) (Asai *et al.*, 2009). Pemberian arang dapat meningkatkan respon terhadap pemberian pupuk dengan kandungan nitrogen (N) (Rondonet *et al.*, 2007). Arang berperan sebagai *soil ameliorant* yang dapat merangsang pertumbuhan tanaman dengan menyediakan dan memelihara unsur hara dalam tanah dengan cara memperbaiki kondisi fisik dan biologi tanah (Lehmann *et al.*, 2009). Berdasarkan hasil-hasil penelitian tersebut, arang adalah bahan potensial yang dapat diberikan pada lahan-lahan *marginal*.

Lahan pertanian yang diusahakan secara terus-menerus yang diiringi dengan penggunaan pupuk anorganik tanpa diimbangi dengan usaha pengembalian bahan amelioran mengakibatkan produktivitas tanah menjadi semakin rendah (Zimmerman, 2011). Pemberian arang pada lahan pertanian merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut di atas. Proses pengarangan dapat mengurangi kehilangan C (karbon) yang biasa terjadi akibat proses pembakaran aerob sehingga C tetap terkonservasi dalam tanah sebagai *carbon sink* (Hairiah dan Rahayu, 2010).

Salah satu potensi limbah yang banyak terdapat di Indonesia adalah batang kelapa sawit yang diperoleh pada saat peremajaan tanaman. Pengolahan batang kelapa sawit menjadi arang merupakan salah satu usaha dalam pemanfaatan limbah batang kelapa sawit sebagai sumber bahan amelioran pada lahan pertanian di Indonesia.

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh pemberian arang batang kelapa sawit terhadap produksi tanaman jagung.

### METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di rumah kaca *University Farm* Institut Pertanian Bogor, Cikabayan pada bulan Januari-Juni 2011. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) yang terdiri dari 6 perlakuan dan diulang sebanyak 4 kali. Perlakuan tersebut terdiri dari:

- A0 : kontrol (0 gram arang/pot percobaan)
- A1 : 4% dari berat tanah (480 gram/ pot percobaan)
- A2 : 8% dari berat tanah (960 gram/ pot percobaan)
- A3 : 12% dari berat tanah (1440 gram/ pot percobaan)
- A4 : 16% dari berat tanah (1920 gram/ pot percobaan)
- A5 : 20% dari berat tanah (2400 gram/ pot percobaan)

Data pengamatan dianalisis secara statistika dengan menggunakan Analisis of Variance (ANOVA) model linier sebagai berikut:

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij}$$

Dimana :

$Y_{ij}$  = Hasil pengamatan sampel ke-j pada dosis arang ke-i

$\mu$  = Nilai tengah

$\alpha_i$  = Pengaruh perlakuan pada taraf ke-i

$\varepsilon_{ij}$  = Galat percobaan

Hasil ANOVA kemudian diuji lanjut dengan menggunakan uji Duncans Multiple Range Test (DNMRT) pada taraf 5%.

Bahan yang digunakan dalam percobaan ini adalah arang dari batang kelapa sawit, tanah latosol yang diambil dari Cikabayan pada kedalaman 0-20 cm sebagai media tanam, benih jagung varietas *Philippine Supersweet*, pupuk dasar (urea, TSP dan KCl).

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Karakteristik Arang

Batang kelapa sawit yang diolah menjadi arang pada penelitian ini memiliki ketinggian 14 meter dari permukaan tanah hingga pangkal pelepah daun pertama dengan diameter batang 65 cm diukur 1,5 m dari permukaan tanah. Bagian batang kelapa sawit yang kadar airnya tinggi pada bagian atas tidak dimanfaatkan dalam proses pembuatan arang. Hasil analisis beberapa sifat fisika dan kimia pada arang dari batang kelapa sawit disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Sifat Fisika dan Kimia pada Arang Batang Kelapa Sawit

Sifat Arang	Kadar	Sifat Arang	Kadar
Kadar Abu (%)	3,36	Basa-basa (%)	
Kadar air (%)	9,33	P2O5	0,04
pH H <sub>2</sub> O	7,51	K <sub>2</sub> O	0,23
C-Total (%)	50,64	CaO	0,43
N (%)	0,14	MgO	0,17
		Na	<0,01
Logam Berat (ppm)		Unsur Mikro (ppm)	
Ni	5	Fe	1.981
Pb	2	Mn	55
Cd	0,3	Cu	9
Cr	1	Zn	14

Tabel 1 menunjukkan bahwa arang yang digunakan pada penelitian ini mempunyai kandungan C-total yang tergolong sedang yaitu 50,64%. Kadar karbon yang diinginkan dalam pembuatan arang adalah setinggi mungkin karena dengan semakin tingginya kadar karbon terikat menunjukkan bahwa atom karbon yang bereaksi dengan uap air menghasilkan gas karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sehingga atom karbon yang tertata kembali membentuk struktur heksagonal lebih banyak. Besar kecilnya karbon terikat dipengaruhi oleh kadar abu, zat terbang, kandungan selulosa dan lignin yang dapat dikonversi menjadi atom karbon (Pari, 2004).

Kandungan C-total dipengaruhi oleh proses dekomposisi *hemiselulosa*, *selulosa* serta *lignin* yang memiliki unsur penyusun utama C pada suhu tinggi. Kandungan C-total menggambarkan bahwa limbah biomassa dari batang kelapa sawit yang berumur 25 tahun berpotensi dijadikan arang untuk tujuan perbaikan kondisi tanah.

Keberadaan air di dalam karbon berkaitan dengan sifat higroskopis dari karbon. Unsur karbon mempunyai sifat afinitas yang tinggi terhadap air. Berdasarkan hasil uji, arang dari batang kelapa sawit memiliki persentase kadar air yang tergolong tidak terlalu tinggi atau sedang yaitu 9,33% (SNI, 1995). Kadar air dipengaruhi oleh volume dan banyaknya pori yang terbentuk pada proses pengarangan. Semakin banyak pori arang yang terbentuk, maka akan semakin rendah kadar air dari arang yang dihasilkan.

Hasil analisis pH pada arang batang kelapa sawit menunjukkan reaksi basa yaitu 7,51. Arang yang baik untuk kegiatan budidaya pertanian memiliki pH mendekati 7, sedangkan batasan pH arang yang dijadikan standar oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah berkisar antara 6,8-7,5.

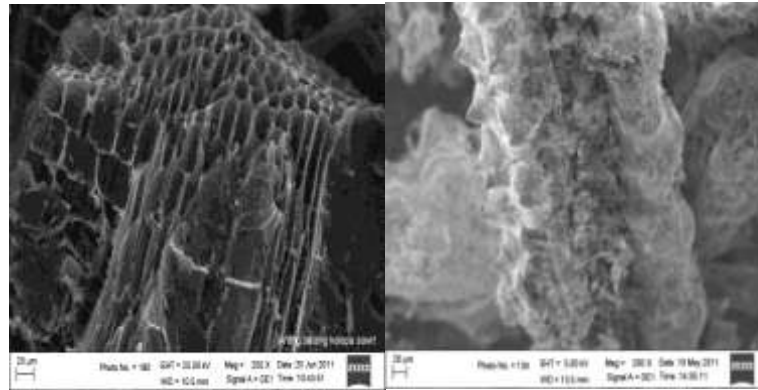
Arang batang kelapa sawit yang digunakan pada penelitian ini memiliki pH yang tergolong cukup baik (7,51), hanya lebih besar 0,01 dari standar yang ditetapkan. Kondisi pH yang terlalu tinggi (basa) akan merugikan tanaman, karena unsur hara mikro menjadi tidak tersedia bagi tanaman. Tingginya pH disebabkan oleh pengaruh campuran abu dalam arang yang dihasilkan dalam proses pengarangan. Kadar abu yang terkandung pada arang dari batang kelapa sawit yaitu 3,36%.

Kandungan abu dalam bahan arang yang dihasilkan akan mempengaruhi kualitas dari arang tersebut. Semakin rendah kandungan abu, maka sifat arang yang dihasilkan akan lebih baik. Kandungan kadar abu dalam arang dipengaruhi oleh proses oksidasi yang terjadi selama proses pembuatan arang.

Hasil analisa kandungan logam berat (Nikel (Ni), Timbal (Pb), Kadmium (Cd) dan Kromium (Cr)) menunjukkan bahwa kandungan logam berat arang batang kelapa sawit

termasuk rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa bahan arang yang digunakan tidak berpotensi untuk meracuni tanaman dan mencemari tanah sehingga aman untuk dimanfaatkan sebagai bahan amelioran.

Secara mikromorfologi, arang memiliki pori pada permukaannya yang diduga berfungsi sebagai pengikat dan penyimpan hara tanah secara efektif seperti terlihat pada Gambar 1a.



Gambar 1. Hasil *Scanning Electron Microscopy* (SEM) arang batang kelapa sawit (a); arang sekam padi (b), (Sumber: koleksi pribadi, 2011 (a); Alfianto, 2011 (b))

Analisis SEM pada arang batang kelapa sawit menunjukkan bahwa proses pembakaran menyebabkan terbentuknya pori-pori pada permukaan struktur arang yang disebabkan oleh menguapnya sebagian dari senyawa hasil degradasi molekul-molekul besar seperti *lignin*, *selulosa* dan *hemiselulosa*.

Jumlah pori pada arang batang kelapa sawit jauh lebih banyak dibandingkan arang sekam padi. Pori arang sekam padi belum terbuka karena masih ditutupi oleh silika berbentuk bulat dan tajam yang biasa disebut sebagai *phytoliths* (Gambar 1b). Pori pada arang menyebabkan luas permukaan menjadi lebih besar dan kemampuan adsorbennya juga meningkat.

Penambahan arang ke dalam tanah dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, daya simpan dan ketersediaan hara yang lebih tinggi. Hal ini berhubungan dengan meningkatnya kapasitas tukar kation, luasan permukaan serta penambahan unsur hara secara langsung oleh arang (Steiner, 2007).

### Pengaruh Arang terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman

Pengaruh arang batang kelapa sawit terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung disajikan pada Tabel 2. Pemberian arang batang kelapa sawit pada tanaman jagung secara umum meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. Pemberian arang sebanyak 4% pada perlakuan A1 mampu meningkatkan parameter pertumbuhan dan produksi tanaman jagung.

Tabel 2. Pengaruh arang terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman jagung

Perlakuan	Hari Muncul Malai	Berat buah (g)	Diameter Buah (cm)	Panjang Akar (cm)	Biomassa tanaman (g)
A0	59,3d	55,24a	3,1a	22,0a	121,85a
A1	41,8ab	249,72c	7,5cd	39,5bc	482,29c
A2	42,8b	271,92c	6,9c	43,8bc	484,73c
A3	44,8c	249,26c	7,8d	47,6c	445,38c
A4	41,0ab	225,44c	5,3b	35,2b	429,77c
A5	40,3a	158,19b	5,7b	42,4bc	295,64b

Keterangan: Angka yang diikuti oleh huruf yang sama pada kolom yang sama tidak berbeda nyata pada taraf  $\alpha$  5% berdasarkan uji Duncan. A0 = kontrol atau tanpa arang; A1 = 4% berat tanah; A2 = 8% berat tanah; A3 = 12% berat tanah; A4 = 16% berat tanah; A5 = 20% berat tanah (1% = 120 gram)

### Hari Muncul Malai

Tabel 2 menunjukkan bahwa malai muncul pada 40 HST hingga 59 HST. Perlakuan A5 berbeda nyata terhadap perlakuan A0, A2 dan A3 tetapi tidak berbeda nyata terhadap perlakuan A1 dan A4. Umumnya malai muncul pada 56 HST. Pada perlakuan A5, malai muncul lebih cepat yaitu pada 40 HST. Umur berbunga tanaman jagung yang lebih cepat dari biasanya diduga karena cukupnya unsur hara yang dibutuhkan untuk memasuki fase generatif pembentukan bunga dan buah.

Pemberian arang batang kelapa sawit cenderung mempercepat hari muncul malai atau usia berbunga dari tanaman jagung. Arang batang kelapa sawit yang diberikan diduga mampu menahan  $\text{NO}_3^-$  sehingga tidak mudah tercuci dan dapat dimanfaatkan oleh tanaman jagung secara maksimal untuk pertumbuhannya (Demspter *et al*, 2012). Tanaman jagung mengambil unsur  $\text{NO}_3^-$  sesuai dengan kebutuhan dan umur tanaman tersebut (Foth, 1988). Unsur N yang berlebih akan memperpanjang fase vegetatif sehingga tanaman jagung lebih lama memasuki usia berbunga (Leiwakabessy *dkk.*, 2003).

Pemberian pupuk dasar yang dilakukan sebanyak 2 kali yaitu pada 2 minggu sebelum tanam serta pada 28 HST diduga juga mempengaruhi cepatnya tanaman jagung memasuki fase vegetatif. Pupuk N umumnya diaplikasikan pada atau dekat waktu tanam dan merupakan waktu dimana kebutuhan tanaman rendah dan terdapat kesempatan kehilangan N sebelum permintaan tanaman meningkat.

### Berat Buah

Tabel 2 menunjukkan bahwa tanaman jagung yang diberi perlakuan A2 mampu menghasilkan berat buah yang tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Perlakuan A2 berbeda nyata terhadap perlakuan A0 dan A5, tetapi tidak berbeda nyata terhadap perlakuan A1, A3 dan A4. Berat buah jagung yang diberi perlakuan A1, A2, A3 dan A4 tidak berbeda terlalu jauh berkisar antara 225,44-271,72 g.

Gambar 2 menunjukkan adanya *trend* data yang meningkat seiring penambahan dosis arang batang kelapa sawit yang digunakan kemudian mulai menurun perlahan pada perlakuan A5. Tingginya berat buah dipengaruhi oleh ketersediaan hara yang dibutuhkan dalam fase generatif pengisian biji jagung.

Arang yang diberikan diduga mampu menahan hara yang ada kemudian dilepas perlahan sesuai dengan laju kebutuhan tanaman jagung. Berat buah tanaman jagung yang tidak mendapat perlakuan arang batang kelapa sawit (A0) nilainya sangat rendah dibandingkan dengan perlakuan arang batang kelapa sawit lainnya yaitu 55,24 g.

Unsur hara P sangat dibutuhkan dalam proses pembentukan tongkol dan pengisian biji jagung. Tanaman mengabsorpsi P dalam bentuk *orthofosfat* primer,  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan sebagian kecil dalam bentuk sekunder  $\text{HPO}_4^{2-}$ . Absorpsi kedua ion itu oleh tanaman dipengaruhi oleh pH tanah sekitar akar. Fosfat akan mempengaruhi waktu masaknya buah jagung (Leiwakabessy *et al.*, 2003). Ketersediaan fosfat yang cukup akan membuat buah jagung terisi dengan sempurna dan mempengaruhi berat buah jagung yang dihasilkan.

### Diameter Buah

Tabel 2 menunjukkan bahwa tanaman yang tidak diberi perlakuan arang (A0), diameter buahnya jauh tertinggal dibandingkan dengan 5 perlakuan lainnya. Perlakuan A3 berbeda nyata terhadap perlakuan A0, A2, A4 dan A5 tetapi tidak berbeda nyata terhadap perlakuan A1.

Diameter buah jagung terendah terdapat pada perlakuan A0 (kontrol) yaitu sebesar 3,1 cm. Diameter buah jagung yang mendapat perlakuan arang batang kelapa sawit berkisar antara 5,3-7,8 cm.

Ketersediaan hara merupakan faktor utama yang mempengaruhi produktivitas dari suatu tanaman. Pertambahan diameter buah jagung dipengaruhi oleh ketersediaan hara yang cukup selama masa pembentukan tongkol dan pengisian biji. Pemberian arang batang kelapa sawit dapat meningkatkan diameter buah dari tanaman jagung.

Arang batang kelapa sawit menyimpan unsur hara yang dibutuhkan tanaman kemudian melepaskannya secara perlahan sesuai dengan kebutuhan tanaman jagung selama fase-fase penting pertumbuhan. Kemampuan ini tidak terlepas dari banyaknya ruang pori yang terdapat pada arang batang kelapa sawit (Steiner, 2007). Sifat arang yang *porous* akan mendukung kemampuan akar tanaman menjadi lebih optimal dalam memanfaatkan unsur-unsur hara yang tersedia sehingga pertumbuhan tanaman menjadi lebih baik dibandingkan dengan tanah yang tidak dicampur arang dan hanya menggunakan penambahan pupuk dasar saja.

Kemampuan tanaman mengabsorpsi baik air ataupun unsur hara berkaitan dengan kapasitasnya untuk mengembangkan sistem perakarannya secara lebih luas (Lehmann *et al.*, 2009). Distribusi dan penetrasi akar menjadi lebih luas sehingga serapan hara dan air menjadi lebih besar dan akan berdampak positif pada pembentukan tongkol dan pengisian biji dari buah jagung.

### **Panjang Akar**

Tabel 2 menunjukkan bahwa pemberian arang berpengaruh nyata terhadap pertambahan panjang akar dari tanaman jagung. Perlakuan A3 berbeda nyata terhadap perlakuan A0 dan A4 tetapi tidak berbeda nyata terhadap perlakuan A1, A2 dan A5. Akar terpanjang terdapat pada perlakuan A3 yaitu 47,6 cm.

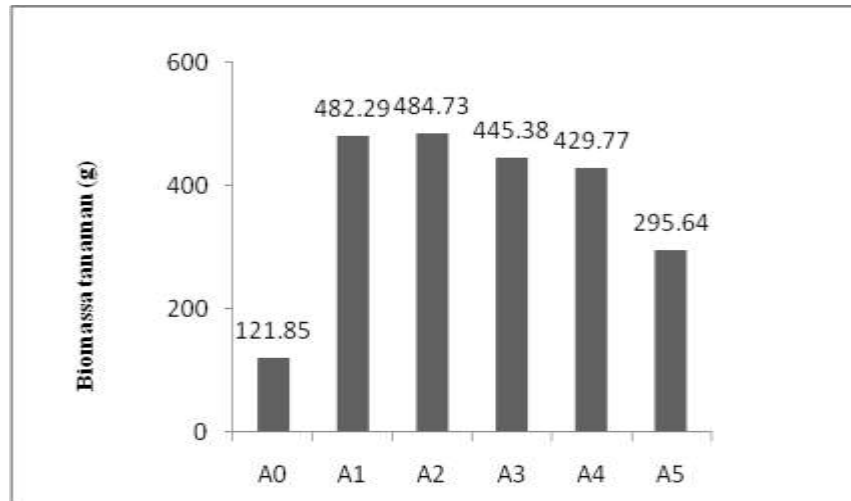
Pemanfaatan arang batang kelapa sawit pada kegiatan budidaya tanaman dapat memperbaiki porositas dan aerasi tanah sehingga dapat menyokong perkembangan akar. Struktur perakaran yang terbentuk akan menentukan kelangsungan proses pertumbuhan tanaman karena akar memiliki fungsi penting sebagai penyerap air dan hara (Prendergast *et al.*, 2011).

Hal ini menunjukkan bahwa secara umum penambahan arang batang kelapa sawit dapat mengurangi kepadatan media tumbuh dengan banyaknya ruang pori sehingga perkembangan akar tanaman menjadi lebih baik. Ruang pori berfungsi sebagai pengikat dan penyimpan unsur hara yang dibutuhkan tanaman sehingga tidak mudah tercuci (Steiner *et al.* 2007).

### **Biomassa Tanaman**

Tabel 2 menunjukkan bahwa produksi biomassa dari tanaman jagung yang diberi perlakuan A0 atau tanpa arang terlihat sangat rendah yaitu 121,85 g dibandingkan dengan 5 perlakuan lainnya. Perlakuan A2 berbeda nyata terhadap perlakuan A0 dan A5 tetapi tidak berbeda nyata terhadap perlakuan A1, A3 dan A4. Perlakuan A2 mampu meningkatkan biomassa tanaman menjadi 484,73g.

Perbedaan biomassa tanaman jagung yang mendapat perlakuan arang dapat dilihat pada Gambar 2. Peningkatan dosis arang batang kelapa sawit yang diberikan pada tanah, menurunkan akseibilitas dari akar tanaman jagung.



Gambar 2. Pengaruh arang batang kelapa sawit terhadap biomassa tanaman jagung

Pertumbuhan tanaman tergantung pada aktivitas sistem fotosintesis, sehingga tidak dapat dihindari bahwa pertumbuhan mengalami tekanan seleksi yang intensif baik pada kemampuan untuk menghasilkan bagian-bagian dimana fotosintesis terjadi maupun kemampuan agar fotosintesis berjalan lebih efisien (Salisbury *et al.*, 1992).

Peningkatan kadar hara tanah terutama N karena adanya perbaikan sifat kimia dan fisik tanah sehingga menyebabkan tanaman dapat memanfaatkan hara yang tersedia untuk menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman selama fase vegetatif dan generatif (De la Rosa and Knicker, 2011). Nitrogen merupakan unsur yang sangat dibutuhkan oleh tanaman. Nitrogen di dalam tanaman diubah menjadi  $-N$ ,  $NH-$  dan  $-NH_2$ . Bentuk reduksi ini kemudian diubah menjadi senyawa yang lebih kompleks dan akhirnya menjadi protein (Liwakabessy, 2003).

Peningkatan biomassa tanaman jagung sehubungan dengan peningkatan dosis arang yang digunakan akan meningkatkan berat dari batang, akar, daun, dan buah dari tanaman jagung. Persentase penambahan biomassa yang dihasilkan di suatu hari ke masing-masing organ tanaman sangat tergantung dari parameter koefisien partisi tiap organ.

## SIMPULAN

Secara umum dapat disimpulkan bahwa pemberian arang batang kelapa sawit untuk meningkatkan produktifitas tanah sekaligus menjadikan tanah sebagai *carbon sink* memiliki prospek yang baik seperti terlihat pada:

1. Produksi tanaman jagung pada tanah yang diberi arang batang kelapa sawit meningkat secara nyata.
2. Peningkatan dosis hingga taraf tertentu menurunkan pertumbuhan dan produksi dari tanaman.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alfianto, R. 2011. Metode Baru Pembuatan Arang Aktif dari Sekam Padi melalui Teknik Pelarutan Silika. *Skripsi*. Bogor: Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Asai, H., Samson, B.K., Stephan, H.M., Songyikhangsuthor, K., Homma, K., Kiyono, Y., Inoue, Y., Shiraiwa, T., and Horie, T. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Elsevier*. 111:81-84.
- Dempster, D.N., Jones, D.L., and Murphy, D.V. 2012. *Soil Biology and Biochemistry*. 48: 47-50.

- De la Rosa, J.M., and Knicker, H. 2011. Bioavailability of N released from N-rich pyrogenic organic matters: An incubation study. *Soil Biology and Biochemistry*. 43 (12): 2368–2373.
- Foth, H.D. 1988. *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Ed. ke-9. Purbayanti E.D., Lukiwati D.R., Trimulatsih, R., penerjemah: Hudoyo, S.A.B. Terjemahan dari: *Fundamentals of Soil Science*. Yogyakarta: Gajah Mada University Perss.
- Hairiah, K dan Rahayu, S. 2010. Mitigasi perubahan iklim agroforestri kopi untuk mempertahankan cadangan karbon lanskap. Seminar Kopi. Denpasar Bali 4-5 Oktober 2010. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia.
- Knicker, H. 2011. Soil organic N-An under-rated player for C sequestration in soils?. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(6): 1118-1129.
- Lehmann, J. 2007. Bio-energy in the black. *Front Ecology Environment*. 5: 381–387.
- Lehmann J., Czimeczik, C., Laird, D and Sohi S. Stability of biochar in the soil. In: Lehmann, J and Joseph S. (Eds). 2009. *Biochar for Environmental Management: Science and Technology*. London: Earthscan.
- Leiwakabessy, F.M., Wahyudin, U.M., dan Suwarno. 2003. *Kesuburan Tanah*. Bogor: Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Pari, G. 2004. Kajian Struktur Arang Aktif dari Serbuk Gergaji Kayu sebagai Adsorben Emisi Formaldehida Kayu Lapis. Disertasi. Bogor: Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Prendergast, M.M.T., Duval, M., and Sohi, S.P. 2011. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(11): 2243-2246.
- Salisbury, F.B., and Ross, C.W. 1992. *Fisiologi Tumbuhan*. Jilid 1. Bandung: Penerbit ITB.
- Standar Nasional Indonesia. 1995. Arang aktif teknis. SNI 06-3730-1995. Badan Standardisasi Nasional Indonesia. Jakarta.
- Steinbeiss, S., Gleixner, G., and Antonietti, M. 2009. Effect of biochar amendment on soil carbon balance and soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry*. 41(6): 1301-1310.
- Steiner, C. 2007. Soil charcoal amendments maintain soil fertility and establish carbon sink-research and prospects. *Soil Ecology Res Dev*. 1-6.
- Zimmerman, A.R., Gao, B., and Ahn, M.Y. 2011. Positive and negative carbon mineralization priming effects among a variety of biochar-amended soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(6): 1169-1179.