

Potensi Arang Hayati “Biochar” sebagai Komponen Teknologi Perbaikan Produktivitas Lahan Pertanian

Anischan Gani¹

Ringkasan

Pemanasan global akibat meningkatnya emisi CO₂ dan gas rumah kaca lainnya ke atmosfer mengkhawatirkan masyarakat dunia akhir-akhir ini. Penambahan karbon dalam tanah pertanian melalui perbaikan praktek pengelolaan telah diidentifikasi sebagai salah satu opsi untuk mengurangi emisi CO₂. Keuntungan penggunaan bahan organik sebagai pembenah tanah bersifat jangka pendek, terutama di daerah tropis, karena cepatnya proses dekomposisi, dan biasanya mengalami mineralisasi menjadi CO₂. Karena itu penambahan bahan organik ke tanah harus setiap tahun untuk mempertahankan produktivitas. Biochar atau arang hayati dapat mengatasi keterbatasan tersebut dan menyediakan opsi bagi pengelolaan tanah. Kenyataannya, biochar telah dimanfaatkan secara tradisional oleh sebagian petani di pedesaan. Berbagai hasil penelitian menunjukkan, biochar berpotensi untuk memperbaiki kesuburan tanah. Manfaat biochar terletak pada dua sifat utamanya, yaitu mempunyai afinitas tinggi terhadap hara dan persisten dalam tanah. Kedua sifat ini dapat digunakan untuk menyelesaikan beberapa masalah penting pertanian akhir-akhir ini, seperti kerusakan tanah dan keamanan pangan, polusi air oleh agrokimia, dan perubahan iklim. Di banyak negara maju dan berkembang, biochar telah menjadi tumpuan bagi keberlanjutan sistem usahatani dan sekaligus mengurangi dampak perubahan iklim global karena sifatnya yang karbon-negatif. Indonesia sebagai negara yang ikut meratifikasi pengurangan dampak perubahan iklim global tentu berkepentingan dalam penggunaan biochar. Selain dapat meningkatkan produktivitas lahan dan tanaman, penggunaan biochar juga dapat mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh kegiatan pertanian. Di Indonesia, pemanfaatan biochar dalam skala luas adalah hal yang relatif baru. Oleh karena itu, pemerintah berperan penting dalam memberikan pemahaman dan pembinaan kepada masyarakat luas, terutama petani, akan pentingnya biochar sebagai pembenah tanah guna mendukung keberlanjutan pertanian mendatang.

Perubahan iklim global merupakan tantangan yang dihadapi masyarakat dunia saat ini. Peningkatan suhu telah terjadi dengan kecepatan yang sulit diperkirakan (IPCC 2001; FAO 2002; FAO 2009). Karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄) dan oksida-oksida nitrat (NO_x) adalah penyebab utama

¹ Peneliti Balai Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi

efek rumah kaca, yang dibebaskan melalui pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa, sebagaimana juga dekomposisi bahan organik yang terdapat di atas dan di bawah tanah (Lehmann *et al.* 2006; Haefele 2007). Dunia internasional berupaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca melalui pengikatan karbon (C).

Strategi yang dapat ditempuh untuk mengikat C adalah memompakan CO₂ ke dalam lautan dan lapisan dalam bumi (DOE 1999 *dalam* Lehmann *et al.* 2006), atau melalui pengelolaan kultur teknik seperti yang dianjurkan oleh Widjaja (2002). Menurut FAO (2009), upaya untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dengan cara mitigasi belum cukup dan memerlukan waktu yang panjang. Pemanasan global telah terjadi, karena itu diperlukan strategi adaptasi untuk menghadapinya, terutama bagi negara-negara yang saat ini sedang mengalami akibatnya. Pada tahun 1994 tingkat emisi CO₂ di Indonesia sudah lebih tinggi dari tingkat penyerapannya (Widjaja 2002).

Kandungan bahan organik yang cukup dan siklus biologi nutrisi merupakan salah satu kunci keberhasilan pengelolaan tanah di daerah tropis lembab. Penggunaan tanaman penutup tanah, penambahan mulsa, kompos atau pupuk kandang sering berhasil memperbaiki produktivitas tanah, mensuplai hara ke tanaman, menyokong siklus nutrisi yang cepat melalui biomassa mikroba, dan menahan pupuk mineral yang diberikan. Namun, Lehmann dan Rondon (2006) menyimpulkan bahwa keuntungan pembenah tanah seperti ini bersifat jangka pendek, terutama di daerah tropis, karena cepatnya dekomposisi bahan organik yang diberikan dan biasanya mengalami mineralisasi menjadi CO₂ dan beberapa gas rumah kaca lainnya dalam beberapa musim tanam. Karena itu, penambahan bahan organik harus dilakukan tiap tahun untuk mempertahankan produktivitas tanah.

Seperti dinyatakan oleh Freibauer *et al.* (2004) dan Lal (2004) *dalam* Lehmann *et al.* (2006), Widjaja (2002), dan Sohi (2009) bahwa tanah merupakan penampung (*sink*) C terbaik dan merupakan opsi penting bagi pengurangan emisi C sehingga diharapkan mampu mengurangi risiko perubahan iklim. Menurut Widjaja (2002), penyerapan karbon ke tanah termasuk usaha pengurangan karbon udara.

Bagi ekosistem darat (terrestrial), telah disepakati bahwa pengikatan C dapat bertambah dengan menambah kandungan C dalam tanah. Namun, analisis terakhir meragukan hal itu karena usaha untuk menambah C dalam tanah sering diimbangi oleh emisi gas rumah kaca lainnya dan tanah umumnya memperlihatkan potensi yang rendah untuk mengakumulasi C (Lehmann *et al.* 2006). Ditambahkan oleh Rasmussen *et al.* (1998) bahwa penampung C ini kurang permanen dan dapat terkuras dengan berubahnya teknik penggunaan lahan.

Karbon hitam (C), atau biochar, dapat mengatasi beberapa keterbatasan tersebut dan menyediakan opsi tambahan bagi pengelolaan tanah. Menurut

Lehmann (2007), semua bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah nyata meningkatkan berbagai fungsi tanah tak terkecuali retensi dari berbagai unsur hara esensial bagi pertumbuhan tanaman. Biochar lebih efektif menahan unsur hara untuk ketersediaannya bagi tanaman dibanding bahan organik lain seperti sampah dedaunan, kompos atau pupuk kandang. Biochar juga menahan P yang tidak bisa diretensi oleh bahan organik tanah biasa. Lehmann dan Rondon (2006) serta Rondon *et al.* (2007) melaporkan bahwa biochar juga menyediakan media tumbuh yang baik bagi berbagai mikroba tanah.

Perhatian terhadap karbon hitam yang didapat dari biomassa (dengan pembakaran bahan organik secara tak sempurna) didorong oleh studi tentang tanah yang ditemui di Lembah Amazon, disebut *terra preta* (Lehmann *et al.* 2003b; Lehmann *et al.* 2006; Miles 2009). Tanah hitam Amazon merupakan tanah yang sudah tua, dikelola oleh bangsa Amerindian antara 500 dan 2.500 tahun yang lalu. Tanah ini mempertahankan kandungan karbon organik dan kesuburannya yang tinggi, bahkan beberapa ribu tahun setelah ditinggalkan oleh penduduk setempat, sangat berlawanan dengan tanah masam di dekatnya yang mempunyai kesuburan rendah (Lehmann *et al.* 2003b). Kandungan bahan organik tanah dan retensi hara yang tinggi disebabkan oleh kandungan karbon hitam yang sangat tinggi (Lehmann dan Rondon 2006; Sohi 2009). Karbon hitam yang banyak ini hanya dapat berasal dari pembakaran yang tak sempurna dari biomassa karbon, kayu dapur atau mungkin juga dari pembakaran di lahan, yang sudah dilakukan penduduk setempat sejak ribuan tahun yang lalu. Dalam kehidupan sehari-hari juga telah lama diketahui bahwa arang kayu dapat menahan unsur hara tanaman dan memperbaiki kesuburan tanah.

Karbon hitam yang berasal dari biomassa, atau arang hayati (biochar), dihasilkan melalui pembakaran pada temperatur 300-500°C dalam kondisi oksigen yang terbatas. Hasilnya, bahan organik sangat aromatis dengan konsentrasi karbon 70-80% (Lehmann *et al.* 2006).

Tulisan ini mengungkap pendekatan baru bagi peningkatan produktivitas tanah dan tanaman, di samping pengikatan C (*C sequestration*) dalam ekosistem darat melalui pemberian karbon hitam yang didapat dari pembakaran tak sempurna berbagai biomassa. Secara sederhana bahan ini disebut sebagai arang, saat ini lebih dikenal sebagai biochar (arang hayati). Pemberian biochar ke dalam tanah menawarkan manfaat jangka panjang bagi penampungan C dalam jumlah besar, di samping beberapa manfaat lainnya.

Manfaat Biochar

Biochar merupakan butiran halus dari arang kayu yang berpori (*porous*), bila digunakan sebagai suatu pembenah tanah dapat mengurangi jumlah CO₂

dari udara. Dalam tanah, biochar menyediakan habitat bagi mikroba tanah, tapi tidak dikonsumsi dan umumnya biochar yang diaplikasikan dapat tinggal dalam tanah selama ratusan atau bahkan ribuan tahun. Dalam jangka panjang biochar tidak mengganggu keseimbangan karbon-nitrogen, tapi bisa menahan dan menjadikan air dan nutrisi lebih tersedia bagi tanaman. Bila digunakan sebagai pembenah tanah bersama pupuk organik dan inorganik, biochar dapat meningkatkan produktivitas, serta retensi dan ketersediaan hara bagi tanaman.

Aplikasi biochar (arang kayu atau karbon hitam yang didapat dari biomassa) ke tanah dianggap sebagai suatu pendekatan yang baru dan unik untuk menjadikan suatu penampung (*sink*) bagi CO₂ udara dalam jangka panjang pada ekosistem darat. Di samping efek positifnya untuk mengurangi emisi dan menambah pengikatan gas rumah kaca, aplikasi biochar ke tanah akan memberikan keuntungan melalui peningkatan produksi tanaman dan kesuburan tanah.

Menurut Lehmann *et al.* (2006), dalam proses pembuatannya kira-kira 50% dari C awal akan terkandung dalam biochar, dekomposisi biologi biasanya meninggalkan kurang dari 20% C setelah 5-10 tahun kemudian, sedangkan melalui proses pembakaran hanya meninggalkan 3% C. Karena itu, sistem *slash-and burn* yang sampai sekarang masih berjalan, menyebabkan degradasi tanah dan mengeluarkan gas rumah kaca, bisa ditingkatkan menjadi *slash-and-char* untuk lebih memperbanyak C yang bisa diikat dalam tanah. Lehmann dan Rondon (2006) berpendapat bahwa manfaat dari *slash-and-char* akan tinggal dalam tanah dalam jangka waktu yang lama. Sebaliknya, aplikasi mulsa, pupuk kandang atau kompos akan mengalami mineralisasi menjadi CO₂ (dan gas rumah kaca lainnya) dalam beberapa bulan atau beberapa tahun ke depan, karena cepatnya dekomposisi bahan organik dalam ekosistem tanah tropis.

Menurut Miles (2009), tanah yang diperkaya oleh arang kayu (biochar) seperti Chernozems dan khususnya Terra Preta merupakan tanah tersubur di dunia. Hal ini membuktikan bahwa pengkayaan tanah dengan karbon organik di atas kapasitas maksimum dimungkinkan bila dilakukan dengan bentuk karbon yang “keras” (rekalsitran) seperti biochar. Lebih jauh, Chan *et al.* (2007) berpendapat bahwa penggunaan biochar untuk mengikat karbon dalam tanah yang merupakan salah satu cara untuk memerangi perubahan iklim hanya dapat terlaksana secara ekonomis bila C yang diikat mempunyai nilai-nilai manfaat pembenah tanah dan/atau pemupukan.

Ketertarikan terhadap biochar sebagai pembenah tanah akhir-akhir ini berkembang pesat. Pirolisis lambat untuk produksi biochar mempunyai manfaat ganda yang meliputi pengelolaan limbah, produksi energi yang dapat diperbaharui, mitigasi perubahan iklim dan adaptasi, serta produktivitas pertanian (Chan *et al.* 2007).

Dua hal yang menjadi pilar bagi pemanfaatan biochar di bidang pertanian adalah afinitasnya yang tinggi terhadap hara dan persistensinya (Lehmann 2007). Semua bahan organik yang ditambahkan ke tanah nyata meningkatkan fungsi tanah, termasuk retensi beberapa unsur hara yang esensial bagi tanaman. Biochar jauh lebih efektif dalam retensi hara dan ketersediaannya bagi tanaman dibanding bahan organik lain seperti kompos atau pupuk kandang. Hal ini juga berlaku bagi hara P yang tidak diretensi oleh bahan organik biasa. Biochar lebih persisten dalam tanah dibanding bahan organik lain. Karena itu, semua manfaat yang berhubungan dengan retensi hara dan kesuburan tanah dapat berjalan lebih lama dibanding bentuk bahan organik lain yang biasa diberikan. Persistensi biochar yang lama dalam tanah juga membuatnya menjadi pilihan untuk mengurangi dampak perubahan iklim sebagai *sink* yang sangat potensial bagi CO₂ udara. Menurut Haefele (2007) serta Lehmann dan Rondon (2006), walaupun biochar dapat digunakan sebagai arang kayu untuk bahan bakar, namun manfaat lingkungannya jauh lebih besar bila ditanamkan ke dalam tanah, dan dengan seiring berjalannya waktu kesuburan tanah akan meningkat.

Dari perspektif iklim, penggunaan biochar dipercaya sebagai “karbon negatif”, yang mengurangi konsentrasi karbon di atmosfer, melalui beberapa mekanisme yaitu; 1) karbon dikeluarkan dari siklus hidup tumbuhan, dan “terkubur” dalam tanah; 2) tanah yang diperkaya dengan biochar berkurang kebutuhan irigasi dan pemupukannya karena sifat retensinya terhadap kedua bahan ini, di mana aplikasi kedua input produksi meningkatkan emisi karbon; dan 3) mengurangi pembusukan sisa-sisa tanaman dan limbah pertanian, yang mengeluarkan gas metana (CH₄) yang dipercaya lebih berbahaya dibanding CO₂ sebagai gas rumah kaca.

Penggunaan biochar dalam pembangunan pertanian akan memberikan manfaat ganda berupa perbaikan produktivitas lahan dan tanaman serta mengurangi emisi CO₂ ke udara. Sesuai dengan laporan FAO (2009), pendekatan adaptasi yang efektif dengan kehidupan yang beragam dan fleksibel antarsektor terkait akan mengurangi ketergantungan penduduk pada sumber daya yang sensitif terhadap iklim. Misalnya, sistem pertanian dan akuakultur dapat diintegrasikan agar komunitas pedesaan dapat mengubah kegiatannya dengan berubahnya kesesuaian lahan dan air. Diversifikasi usaha di pedesaan dalam waktu singkat mungkin dapat mengurangi pendapatan petani, tapi akhirnya akan melindungi mereka dari kekurangan pangan dan masalah-masalah peka lainnya di masa yang akan datang.

Pembuatan Biochar

Kemungkinan yang akan menjadi pembatas utama dalam pemanfaatan biochar di bidang pertanian adalah cara memproduksi biochar itu sendiri, terutama di pedesaan dengan sarana dan dana yang sangat terbatas di kalangan petani.

Terkait dengan ide biochar, bila kayu dan limbah pertanian mengalami pembakaran dalam keadaan tanpa oksigen akan dihasilkan tiga substansi, yaitu; a) *bio-gas* dan hidrogen, keduanya dapat dijadikan bahan bakar hayati; b) *bio-oil* yang dapat diperbaharui; dan c) arang (*char*) yang sebagian besar terdiri atas kandungan karbon bahan dasar yang digunakan.

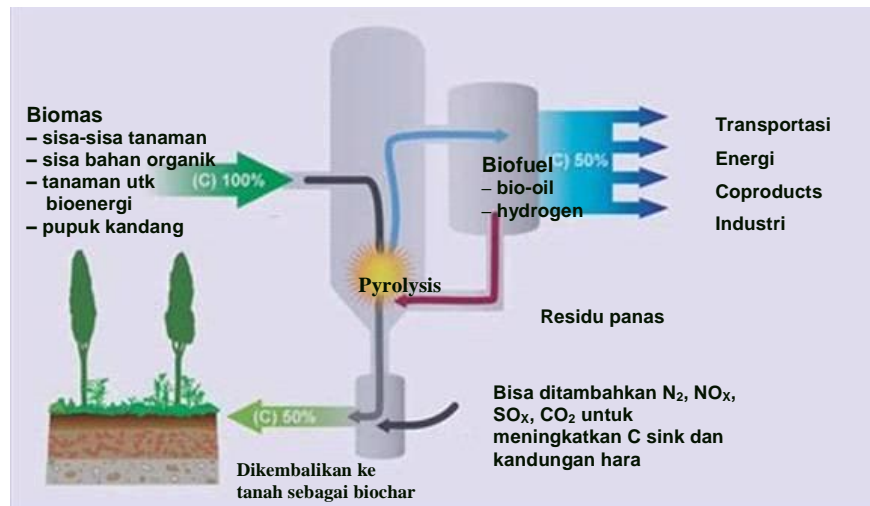
Menurut Mathews (2008), bahan bakar hayati (*bio-fuel*) pada dasarnya bersifat *carbon neutral*, karena mengembalikan C ke atmosfer yang berasal dari fotosintesis tumbuh-tumbuhan. Tapi bila C yang dikembalikan ke udara kurang dari yang ditampung dalam biomassa tumbuhan maka akan menjadi *carbon-negative*, di mana C dikeluarkan dari udara. Hal ini bisa dicapai dengan mudah, misalnya dengan mengubah sebagian biomassa bahan dasar menjadi biochar, kemudian mengembalikan biochar ke dalam tanah.

Biochar dapat dihasilkan dari sistem pirolisis atau gasifikasi. Pada sistem pirolisis, biochar yang dihasilkan sebagian besar dalam keadaan tanpa oksigen dan paling sering dengan sumber panas dari luar, sedangkan pada sistem gasifikasi hanya sedikit biochar yang dihasilkan. Produksi biochar yang optimal adalah dalam keadaan tanpa oksigen.

Bahan dasar yang digunakan dalam pirolisis dapat berupa berbagai jenis dan bentuk biomassa. Residu biomassa pertanian atau kehutanan, termasuk potongan kayu, tempurung kelapa, tongkol jagung, sekam padi atau kulit buah kacang-kacangan, kulit kayu, sisa-sisa usaha perkayuan, limbah industri tebu, sisa usaha penyulingan, dan bahan organik daur ulang lainnya (Yaman 2004; Lehmann and Rondon 2006). Pada saat ini residu tanaman paling potensial untuk pembuatan biochar adalah sekam padi (Gadde *et al.* 2007; Haefele *et al.* 2008). Tanaman yang ditanam khusus untuk mengambil energinya dapat digunakan untuk menghasilkan bahan bakar hayati (*bio-fuels*) dengan biochar sebagai hasil samping yang dapat diaplikasikan ke tanah.

Menurut Lehmann dan Rondon (2006), pada percobaan laboratorium dan kegiatan komersial sekitar 54% dari karbon yang ada dalam bahan dasar ditemukan dalam biochar, sedangkan dengan menggunakan peralatan sederhana hanya ditemukan 30-40%. Pembuatan biochar dengan membakar potongan bahan organik memerlukan ketrampilan khusus. Namun, petani yang biasa membuat arang secara sederhana bisa melakukannya dengan kearifan lokal yang sudah berkembang di pedesaan.

Pada kondisi produksi terkontrol, karbon di dalam biomassa diikat dalam biochar dengan hasil samping berupa bioenergi dan *bio-oil*. Secara teoritis, di dalam biochar akan tersimpan sampai 50% karbon bahan baku dalam bentuk struktur arang kayu yang *porous* (Lehmann 2007; Miles 2009); sedang sisanya akan terikat sebagai bioenergi dan *bio-oil*. Walaupun secara teknis tidak mungkin menangkap 100% biomassa karbon karena energi juga digunakan dan hilang dalam proses produksi, proses produksi biochar yang



Gambar 1. Konsep dasar pirolisis temperatur rendah pada pembuatan biochar (Lehmann 2007).

optimal dapat mengikat sebagian dari biomassa karbon dalam biochar dan sebagian sebagai bioenergi. Efisiensi konversi C dari biomassa menjadi biochar sangat bergantung pada tipe bahan dasar dan proses produksi.

Sistem produksi pirolisis dan gasifikasi dapat dijalankan melalui unit-unit yang mobil atau menetap. Sistem pirolisis dan gasifikasi skala kecil yang dapat digunakan di lapang atau industri kecil tersedia secara komersial dengan input biomassa berkapasitas 50 kg/hari sampai 1.000 kg/hari. Bioenergi yang dihasilkan dari sistem ini dapat digunakan untuk menghasilkan panas, tenaga atau kombinasi tenaga dan panas. Pada tingkat lokal atau regional, unit-unit pirolisis dan gasifikasi dapat dioperasikan oleh koperasi atau industri besar, yang dapat memproses sampai 4.000 kg biomassa per jam.

Berbagai cara pembuatan biochar telah tersedia dari yang tradisional sampai yang paling maju. Bahkan pengintegrasian pembuatan biochar dan produksi bioenergi serta *bio-oil* akan meningkatkan nilai tambah dari pemanfaatan biomassa tanaman, termasuk residu tanaman dan limbah pertanian. Cara mana yang paling baik digunakan bergantung pada sumber daya yang tersedia dan skala usaha di daerah pengembangan.

Penelitian dan Pengembangan Biochar

Penelitian dan pengembangan biochar telah menarik banyak komunitas ilmiah dan pengguna yang memperlihatkan perspektif menarik tentang pengelolaan

biomassa bagi perekonomian masa depan. Pengintegrasian produksi bioenergi, pertanian berkelanjutan dan pengelolaan limbah menjadi suatu pendekatan penggunaan biochar merupakan usaha pengelolaan sumber daya yang sinergis dan terintegrasi.

Chan *et al.* (2007) menyatakan, aplikasi biochar mempunyai manfaat agronomis yang nyata. Namun, hasil penelitian tersebut tidak bersifat universal karena penelitian lain menunjukkan hasil yang berbeda atau bahkan memiliki efek negatif. Hal ini disebabkan oleh luasnya kisaran sifat biochar, sesuai dengan bahan dasarnya, dan interaksi yang beragam antara biochar dengan tipe tanah. Karena itu masih diperlukan penelitian untuk pengembangan pemanfaatan biochar secara umum.

Cheng *et al.* (2006) memonitor perubahan sifat biochar dan pengaruhnya terhadap kesuburan tanah yang disebabkan oleh proses abiotik dan biotik serta penambahan pupuk organik dan anorganik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaruh proses abiotik lebih penting dari yang diperkirakan sebelumnya terhadap peningkatan KTK permukaan biochar. Penelitian (Cheng *et al.* 2008a) menunjukkan bahwa biochar mempunyai sifat adsorpsi yang lebih besar terhadap kation melalui oksidasi permukaan dibanding melalui adsorpsi oleh bahan organik biasa. Biochar yang baru mempunyai kapasitas adsorpsi rendah, dan yang sudah berumur lama memperlihatkan KTK sangat tinggi. Cheng *et al.* (2008b) menyatakan pula bahwa stabilitas biochar yang sudah ada dalam tanah selama 130 tahun tidak dipengaruhi oleh perubahan suhu.

Penambahan biochar ke tanah meningkatkan ketersediaan kation utama dan P, sebagaimana halnya total konsentrasi N dalam tanah. KTK dan pH sering meningkat, berturut-turut sampai 40% dari KTK awal dan sampai satu unit pH. Tingginya ketersediaan hara bagi tanaman merupakan hasil dari bertambahnya nutrisi secara langsung dari biochar dan meningkatnya retensi hara (Chan *et al.* 2008; Lehmann *et al.* 2003a; Lehmann and Rondon 2006; Sohi 2009). Disimpulkan bahwa biochar dapat berperan sebagai pembenah tanah yang memacu pertumbuhan tanaman dengan mensuplai dan yang lebih penting menahan hara, di samping berbagai peran lainnya yang dapat memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Lehmann *et al.* (2003a) dengan penelitian pot menggunakan tanaman kacang tunggak (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) dan padi (*Oryza sativa* L.) menyimpulkan bahwa penambahan biochar nyata meningkatkan pertumbuhan dan nutrisi tanaman. Walau konsentrasi N daun berkurang, serapan P, K, Ca, Zn, dan Cu oleh tanaman bertambah dengan makin tingginya penambahan biochar. Pencucian dari pupuk N yang diberikan berkurang nyata dengan pemberian biochar, sedangkan pencucian Ca dan Mg diperlambat.

Chan *et al.* (2007) melaporkan perubahan nyata dari kualitas tanah, termasuk meningkatnya pH, karbon organik, dan kation dapat tukar terlihat pada pemberian biochar dengan jumlah yang lebih banyak (> 50 t/ha). Namun

pada tanaman sejenis lobak terjadi sedikit pengurangan produksi bahan kering tanaman pada pemberian 10 t/ha. Sehubungan dengan ini, Günther (2007) menyatakan bahwa pemberian biochar yang baru dibuat dapat mengurangi hara dalam tanah. Namun setelah kompleks pertukaran terisi akan muncul efek positif penambahan biochar. Karena itu, disarankan untuk memperkaya biochar dengan hara tanaman sebelum ditambahkan ke tanah.

Penelitian tentang pengaruh biochar terhadap pertumbuhan bibit padi telah ada sejak 1915 (Kishimoto and Sugiura 1985 *dalam* Lehmann and Joseph 2009). Di Jepang, penelitian terhadap biochar agak intensif pada tahun 1980-an. Dalam buku kuno Jepang sekitar tahun 1697 tentang pertanian (Ogawa *dalam* Lehmann and Joseph (2009), biochar disebut sebagai pupuk-api (*fire-manure*). Dalam bidang hortikultura penggunaan biochar sudah lama dianjurkan, misalnya sebagai media tanaman pot. Di Cina sisa-sisa biomassa dicampur, ditutup dengan tanah, dan dibakar sampai menghasilkan bahan berwarna hitam yang dapat menambah vigor tanaman (Liebig 1878 *dalam* Lehmann and Joseph 2009).

Asai *et al.* (2009) pada MH 2007 juga telah menguji pengaruh pemberian biochar terhadap sifat tanah dan hasil gabah padi gogo di Laos bagian utara. Pemberian biochar sebanyak 16 t/ha meningkatkan konduktivitas hidraulik tanah lapisan atas. Pada tanah dengan ketersediaan P yang rendah biochar dapat meningkatkan hasil gabah. Di samping itu, respon terhadap takaran pemupukan N meningkat dengan penambahan biochar. Disimpulkan bahwa biochar berpotensi untuk memperbaiki produktivitas tanah dan padi gogo di Laos, namun efek dari biochar bergantung pada tingkat kesuburan tanah dan pemupukan.

Pengaruh biochar terhadap produktivitas tanaman bergantung pada jumlah yang ditambahkan. Dengan pemberian 0,4-8,0 t C/ha pada berbagai tanaman terjadi peningkatan produktivitas yang nyata berkisar antara 20-220%, dengan produksi biomassa mencapai 120-320% dibanding kontrol (Lehmann *et al.* 2006). Dalam banyak hal keterbatasan N merupakan alasan utama berkurangnya respon tanaman dengan pemberian biochar dalam jumlah yang banyak. Lehmann *et al.* (2003a) menyimpulkan dengan bertambahnya jumlah pemberian biochar, respon tanaman di daerah tertentu positif sampai dicapainya tingkat maksimum, di atas mana respon pertumbuhan menjadi negatif, sebagaimana terlihat pada tanaman kacang-kacangan dengan pemberian 31-93 t C/ha. Di samping itu, penambahan hara melalui pupuk organik dan inorganik biasanya diperlukan untuk produktivitas yang tinggi dan menambah respon positif dari pemberian biochar.

Penelitian pot menggunakan tanah Alfisol (Grumosol) telah dilakukan untuk melihat pengaruh biochar dari limbah hijauan dengan proses pirolisis terhadap tanaman radish (*Raphanus sativus* var. Long Scarlet) dan kualitas tanah (Chan *et al.* 2007). Dalam penelitian ini biochar diberikan 10, 50, dan

100 t/ha dengan dan tanpa tambahan pupuk N. Ternyata, tanpa pupuk N, pemberian biochar ke tanah tidak meningkatkan hasil tanaman bahkan sampai pemberian 100 t/ha. Namun interaksi terlihat nyata antara biochar dengan pupuk N. Dengan pupuk N, peningkatan hasil yang lebih besar terjadi dengan penambahan biochar. Hal ini menunjukkan peran biochar dalam meningkatkan efisiensi pemupukan N pada tanaman.

Melalui penelitian lapang di Kenya Barat sejak 2005, Kimetu *et al.* (2008) menyimpulkan bahwa pemberian biochar ke tanah yang paling terdegradasi lebih efektif meningkatkan hasil. Hal ini menunjukkan adanya manfaat biochar yang berhubungan dengan bertambahnya ketersediaan air tanah, penetrabilitas atau dinamika mikroba tanah. Pada tanah yang sangat terdegradasi, penambahan biochar meningkatkan hasil jagung dari sekitar 3 menjadi 6 t/ha. Pada tahun berikutnya tidak dilakukan pemberian biochar, tetapi hasil jagung tidak berkurang pada perlakuan biochar, berlawanan dengan perlakuan pemberian pupuk hijau.

Penggunaan biochar tidak hanya menaikkan hasil buncis dan wortel dan mengurangi risiko kegagalan panen tapi produk yang dihasilkan lebih bergizi (Rondon *et al.* 2004). Penelitian Steiner *et al.* (2007) di Manaus, Brazil, menunjukkan bahwa manfaat kombinasi pemberian biochar dan pemupukan terhadap sorgum terlihat setelah 3 musim tanam.

Di Cebu, Filipina, pembuatan biochar dan distribusinya memberikan tambahan pendapatan bagi sebagian petani (Remedio 2002). Di negara Brazil, Argentina, dan beberapa negara di Afrika, biochar telah merupakan komoditas ekonomi yang menyerap banyak tenaga kerja. Tenaga kerja yang diperlukan untuk produksi sumber daya biomassa kira-kira lima kali lipat dari yang dibutuhkan untuk produksi bahan bakar fosil (Domac 2002). Di Brazil, produksi biochar menyerap 200.000-300.000 tenaga kerja. Data FAO (2002) menunjukkan nilai impor biochar selama tahun 2000 ke Saudi Arabia mencapai 8 juta dolar AS.

Potensi Penggunaan Biochar di Indonesia

Sebagai salah satu negara yang ikut meratifikasi UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*), Indonesia berkewajiban mengkomunikasikan upaya untuk mengurangi dampak pemanasan global. Upaya tersebut antara lain menginventarisasi gas-gas rumah kaca secara nasional yang berasal dari berbagai sumber (energi, hutan, pertanian, dsb) dan penyerapannya seperti penyerapan gas CO₂ oleh hutan. Informasi lain yang perlu dikomunikasikan adalah langkah-langkah yang sudah, sedang, dan akan dilakukan dalam rangka mengurangi emisi gas-gas rumah kaca dan meningkatkan kemampuan penyerapannya. Namun, seperti dilaporkan

oleh Widjaja (2002), hasil inventarisasi gas-gas rumah kaca di Indonesia menunjukkan bahwa pada tahun 1994 emisi total CO₂ telah mencapai 748,607 Gg, CH₄ 6,409 Gg, N₂O 61 Gg, NO_x 928 Gg, dan CO 11,966 Gg. Adapun penyerapan CO₂ oleh hutan berkurang, tercatat sebesar 364,726 Gg. Dengan demikian, pada tahun 1994 saja tingkat emisi CO₂ di Indonesia sudah lebih tinggi dari tingkat penyerapannya. Hasil perhitungan sebelumnya, pada tahun 1990, penyerapan CO₂ masih lebih tinggi dari tingkat emisi. Jadi sejak 1994 Indonesia sudah memberikan kontribusi bagi peningkatan konsentrasi gas-gas rumah kaca di atmosfer.

Suatu hal yang perlu diingat adalah pertanian tidak hanya merupakan korban dari perubahan iklim, tapi juga merupakan sumber gas rumah kaca. Produksi tanaman dan ternak membebaskan gas rumah kaca ke udara dan bertanggungjawab bagi sebagian besar emisi gas metan (dari ternak dan lahan basah, terutama padi sawah) dan oksida nitrat (dari penggunaan pupuk). Perubahan penggunaan lahan seperti deforestasi dan degradasi lahan (keduanya merupakan akibat dari praktek pertanian yang tidak ramah lingkungan) telah mengeluarkan sejumlah karbon ke udara, sehingga menambah pemanasan global. Menurut FAO (2009), kegiatan pertanian dan deforestasi menyumbang sebesar sepertiga dari emisi gas rumah kaca yang disebabkan oleh kegiatan manusia, 25% karbon, 50% metan, dan 75% oksida nitrat. Sebesar 80% dari total emisi pertanian dan deforestasi berasal dari negara sedang berkembang, termasuk Indonesia.

Menurut Horgan (2002), pemanfaatan residu tanaman dan limbah adalah suatu sumber potensial bagi energi biomassa yang relatif murah. Kebanyakan dari bahan ini tidak digunakan dan biayanya akan lebih murah dibandingkan dengan bahan yang sengaja diusahakan sebagai bahan dasar. Pembuatan dan penggunaan biochar melalui perencanaan dan pengelolaan yang baik bersama dengan infrastruktur pemasaran juga dapat mengurangi migrasi dari pedesaan dan menambah pendapatan petani, di samping berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca (Girard 2002, Faaij 2002).

Lehmann dan Rondon (2006) menambahkan bahwa residu dari prosesing biji-bijian seperti sekam padi dan residu usaha perkayuan seperti serbuk gergaji dapat digunakan untuk membuat biochar. FFTC (2001) merekomendasikan pembuatan biochar dari sekam padi, yang dapat dilakukan dengan teknologi yang tersedia secara lokal. FAO (2009) menyatakan bahwa cara adaptasi yang efektif bagi petani menghadapi perubahan iklim global adalah dengan diversifikasi usaha yang dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya yang peka terhadap perubahan iklim. Diversifikasi usahatani pada awalnya mungkin bisa mengurangi pendapatan, namun akhirnya akan melindungi petani dari kemungkinan terjadinya kekurangan pangan dan hal lainnya yang tidak menguntungkan di masa depan.

Walaupun negara-negara maju dan berkembang akhir-akhir ini meningkat perhatiannya terhadap penggunaan biochar bagi pengembangan pertanian

masa depan, terutama bila dihubungkan dengan usaha-usaha untuk mengurangi efek pemanasan global, di Indonesia masih kurang penelitian dan pengkajian tentang penggunaan biochar dalam hubungannya dengan kesuburan tanah dan produksi tanaman. Namun, beberapa perusahaan di Indonesia diketahui ambil bagian dalam perdagangan biochar internasional.

Kenyataannya, mungkin sudah ribuan tahun yang lalu, rumah tangga di pedesaan Indonesia telah memanfaatkan biochar atau arang kayu ini sebagai sumber energi dan perbaikan kesuburan tanah pada tingkat terbatas. Tempurung kelapa dan arang kayu sudah biasa digunakan sebagai sumber panas, sedangkan sisa dari pemanfaatannya (umumnya masih banyak mengandung arang) digunakan oleh ibu-ibu rumah tangga untuk lebih menyuburkan tanah bagi tanaman hias dan sayuran di halaman atau belakang rumah. Sampai sekarang arang kayu masih dimanfaatkan sebagai bahan bakar rumah tangga, baik secara langsung maupun dengan menggunakan kompor khusus. Sisa-sisa dari pemanfaatan bahan bakar ini masih mengandung biochar walau kadarnya rendah, tetapi dapat digunakan untuk memperbaiki kesuburan lahan dalam skala rumah tangga.

Pemanfaatan biochar dalam skala luas di Indonesia bukan suatu hal yang mudah dan memerlukan pemahaman tentang fungsinya sebagai pembenah tanah dan mengurangi dampak pemanasan global dengan menyediakan sink yang persisten bagi CO₂ di dalam tanah. Bagaimanapun penggunaan biochar sebagai pembenah tanah memerlukan investasi. Misalnya, untuk pemberian 10 t/ha biochar diperlukan modal sebesar Rp 5 juta (di tingkat petani, harga biochar dari sekam padi Rp 500/kg). Namun, dengan potensi yang ada di tingkat petani, biochar dapat diberikan secara bertahap dalam beberapa tahun.

Di sawah lahan irigasi dan tadah hujan umumnya telah berjalan sistem usahatani berbasis padi dengan pola dua kali. Bobot jerami padi dengan indeks panen 0,5 dapat mencapai 3 t/ha dan sekam padi sekitar 20% dari bobot hasil gabah potensial sebagai bahan baku biochar, di samping limbah biomasa lainnya yang ada di daerah setempat. Pembuatan biochar dari sekam padi telah biasa dilakukan petani, yang diperlukan selanjutnya adalah perbaikan dan penyempurnaan dari cara petani tersebut sesuai dengan sumber daya yang ada, sehingga didapatkan biochar dengan mutu yang lebih baik dan harga yang lebih murah. Di samping itu harus dilakukan pembinaan agar petani dapat membuat biochar dari sumber biomassa lainnya.

Khususnya di Indonesia, pemanfaatan biochar dalam skala luas adalah hal yang baru. Karena itu peran pemerintah melalui sektor terkait dalam pembinaan dan penyadaran petani akan pentingnya biochar sebagai pembenah tanah bagi keberlanjutan sistem pertanian memegang peranan penting.

Penutup

Biochar atau arang-hayati merupakan alternatif unik dan cukup menjanjikan bagi perbaikan lahan pertanian dan produksi tanaman. Dengan bertambahnya kekhawatiran terhadap efek perubahan iklim global, perhatian terhadap biochar sebagai pembenah tanah makin bertambah. Biochar dapat menambah retensi air dan hara dalam tanah dan meningkatkan ketersediaan unsur-unsur hara bagi tanaman. Efek peningkatan kandungan karbon dalam tanah relatif lebih permanen dengan penambahan biochar dibanding bentuk-bentuk bahan organik lainnya. Peningkatan produktivitas berbagai tanaman pertanian, khususnya tanaman pangan, oleh pemberian biochar juga telah sering dilaporkan.

Dalam aspek penambahan karbon biochar bersifat karbon negatif, penambahan biochar ke dalam tanah akan mengurangi emisi CO₂ ke atmosfer, di samping juga emisi gas-gas lainnya yang menjadi penyebab terjadinya pemanasan global. Karena itu biochar merupakan alternatif utama bagi penambahan karbon ke dalam tanah di masa depan.

Pemanfaatan biochar pada skala kecil di pedesaan, sebagai pembenah tanah dan sumber energi, perlu dikembangkan secara lebih luas untuk maksud peningkatan produktivitas lahan dan tanaman pertanian, menambah lapangan kerja dan pendapatan, serta mengurangi efek negatif pertanian terhadap kerusakan lingkungan. Penelitian dan pengembangan pembuatan dan penggunaan biochar di suatu daerah harus lebih digiatkan dengan mempertimbangkan sumber daya dan potensi pengembangan yang ada di daerah yang bersangkutan, agar manfaat penggunaan biochar dapat dirasakan oleh sektor-sektor terkait.

Pustaka

- Asai, H., B.K. Samson, Haefele M. Stephan, Khamdok Songyikhangsuthor, Koki Homma, Yoshiyuki Kiyono, Yoshio Inoue, Tatsuhiko Shiraiwa, and Takeshi Horie. 2009. Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos: 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Res.* 111(1-2): 81-84
- Chan, K.Y., L. van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian J. of Soil Res.* 45(8):629-634.
- Chan, K.Y., L. van Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. 2008. Using poultry litter biochars as soil amendments. *Australian J. of Soil Res.* 46 (5): 437-444.

- Cheng C.H., J. Lehmann, J.E. Thies, S.D. Burton, and M.H. Engelhard. 2006. Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes. *Organic Geochemistry* 37:1477-1488.
- Cheng C.H., J. Lehmann, and M. Engelhard. 2008a. Natural oxidation of black carbon in soils: changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 72, 1598-1610.
- Cheng, C.H., J. Lehmann, J.E. Thies, and S. Burton. 2008b. Stability of black carbon in soils across a climatic gradient. *J. of Geophysical Res. (Biogeosciences)*, in press.
- Domac, J. 2002. Bioenergy and job generation. *Unasylya - No. 211 - WOOD ENERGY. An international journal of forestry and forest industries - Vol. 53 2002/4* FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Faaij, A. 2002. International trade of biofuels. *Unasylya - No. 211 - Wood Energy. An international journal of forestry and forest industries - Vol. 53 2002/4* FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. 2002. Wood energy, carbon sinks and global climate change. *Unasylya - No. 211 - WOOD ENERGY. An international journal of forestry and forest industries - Vol. 53 2002/4* FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- FAO. 2009. Climate change mitigation and adaptation in agriculture, forestry and fisheries. Office of the Assistant Director-General Natural Resources Management and Environment Department Food and Agriculture Organization of the United Nations Viale delle Terme di Caracalla - 00153 Rome, Italy.
- FFTC. 2001. Application of Rice Husk Charcoal. FFTC Leaflet for Agriculture no. 4. Food and Fertilizer Technology Center, Taipei (2001).
- Gadde, B., Christoph Menke, Werner Siemers, and Suneerat Pipatmanomai. 2007. Technologies for energy use of rice straw: a review. *International Rice Research Notes* 32(2):5-14.
- Girard, P. 2002. Charcoal production and use in Africa: what future? *Unasylya - No. 211 - Wood Energy. An international journal of forestry and forest industries - Vol. 53 2002/4* FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Günther, F. 2007. Nutrient adsorption by fresh charcoal. Submitted by Folkeg on Sat, 2007-04-21 16:33. www.holon.se/folke
- Haefele, S.M. 2007. Rice Today, April-June 2007. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.

- Haefele, S.M., C. Knoblauch, A.A. Marifaat, and Y. Konboon. 2008. Biochar in rice-based systems: effects and opportunities. Biofuels Research in the CGIAR-A perspective from the Science Council. Rome, Italy: CGIAR Science Council Secretariat.
- Horgan, G.P. 2002. Wood energy economics. *Unasylva* - No. 211 - Wood Energy. An international journal of forestry and forest industries - Vol. 53 2002/4 FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- IPCC. 2001. Climate Change 2001, The scientific basis. Technical summary by workgroup I of the intergovernmental panel on climatic change, Cambridge, UK, Cambridge University Press.
- Kimetu, J., H.J. Lehmann, S. Ngoze, D. Mugendi, J. Kinyangi, S. Riha, L. Verchot, J. Recha, and A. Pell. 2008. Reversibility of soil productivity decline with organic matter of differing quality along a degradation gradient. *Ecosystems*, in press.
- Lehmann, J., J.P. da Silva Jr., C. Steiner, T. Nehls, W. Zech, and B. Glaser. 2003a. 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.
- Lehmann, J., D.C. Kern, L.A. German, J. McCann, G.C. Martins, and A. Moreira. 2003b. Soil fertility and production potential. *In* J. Lehmann, D.C. Kern, B. Glaser and W.I. Woods (Eds.), *Amazonian Dark Earths: Origin, Properties, Management*, (p. 105-124) Dordrecht, Kluwer Academic Publishers.
- Lehmann, J., J. Gaunt, and M. Rondon. 2006. Biochar sequestration in terrestrial ecosystems-a review. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11:403-427.
- Lehmann, J. and M. Rondon. 2006. Biochar soil management on highly weathered soils in the humid tropics. p: 517-530 *In* *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems* (Norman Uphoff *et al* Eds.). Taylor & Francis Group PO Box 409267 Atlanta, GA 30384-9267.
- Lehmann, J. 2007. Bioenergy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5: 381-387.
- Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management: an introduction. science and technology. *In*: Lehmann and Joseph (Eds.). First published by Earthscan in the UK and USA in 2009.
- Mathews, J. A. 2008. Biofuels, climate change and industrial development: can the tropical South build 2,000 biorefineries in the next decade? Accepted for publication in *Biofuels, Bioproducts & Biorefining* Macquarie University Sydney NSW 2109 Australia. 37 p.

- Miles, T. 2009. Use of biochar (charcoal) to replenish soil carbon pools, restore soil fertility and sequester CO₂. Submitted on Wed, 2009-01-14 by the United Nations Convention to Combat Desertification 4th Session of the Ad Hoc Working Group on Long-term Cooperative Action under the Convention (AWG-LCA 4), Poznan 1-10 December 2008.
- Peacocke, C. 2008. Science to Practice-a (brief) Introduction to Pyrolysis. IBI 2008 Conference New Castle, Newcastle University September 7-9, 2008.
- Rasmussen, P.E., K. Goulding, W.T. Brown, J.R. Grace, H.H. Janzen, and M. Korschens. 1998. Long-term agroecosystem experiments: Assessing agricultural sustainability and global change. *Science* 282: 893-896.
- Remedio, E.M. 2002. Wood energy and livelihood patterns: a case study from the Philippines. *UnASYVA* No. 211 - Wood Energy. An international journal of forestry and forest industries - Vol. 53 2002/4 FAO-Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Rondon, M., J. Lehmann, J. Ramirez, and M.P. Hurtado. 2004. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris*) increases with charcoal additions to soils. *In* Integrated Soil Fertility Management in the Tropics (pp. 58-60) Annual Report of the TSBF Institute, CIAT, Cali, Colombia.
- Rondon, M., J. Lehmann, J. Ramirez, and M. Hurtado. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biology and Fertility in Soils* 43: 699-708.
- Steiner C., W.G. Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls, J.L.V. Macedo, W.E.H. Blum, and W. Zech. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant and Soil* 291:275-290 .
- Sohi, S., E. Lopez-Capel, E. Krull, and R. Bol. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report 05/09, February 2009.
- Widjaja, H. 2002. Penyimpanan karbon dalam tanah alternatif carbon sink dari pertanian konservasi. PPS Ilmu Tanah, IPB.
- Yaman, S. 2004. Pyrolysis of biomass to produce fuels and chemical feedstocks. *Energy Conversion and Management* 45:651-671.