

Biochar Sebagai Penyimpan Karbon, Perbaikan Sifat Tanah, dan Mencegah Pemanasan Global : Tinjauan

Biochar As Carbon Sequestration and Soil Amendment, to Avoid Global Warming: A Review

Rakhman Sarwono¹

¹Pusat Penelitian Kimia - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Corresponding author: rakhman.sarwono@lipi.go.id

ARTICLE INFO

Article history

Received date : 8 July 2015

Revised date : 4 May 2016

Accepted date : 10 June 2016

Available online at:

<http://kimia.lipi.go.id/inajac/index.php>

Kata kunci:

GRK, *biochar*, penyimpanan karbon, pemanasan global, perubahan iklim, CO₂

Keywords:

GHG, *biochar*, carbon sink, global warming, climate change, CO₂

Abstrak

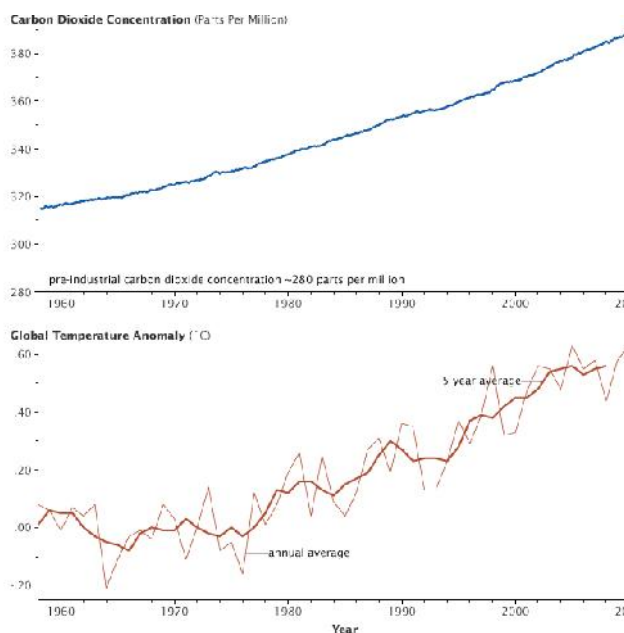
Terjadinya pemanasan global disebabkan karena makin tingginya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Pemanasan global akan memberi dampak yang buruk terhadap kehidupan makhluk hidup di bumi ini. GRK yang sangat berpengaruh terhadap naiknya temperatur atmosfer bumi adalah gas CO₂ [karbon dioksida], NO_x, metan dan freon. Salah satu GRK yang menjadi perhatian adalah gas CO₂, karena gas CO₂ kebanyakan dari kegiatan manusia seperti pembakaran bahan bakar *fossil* yang jumlahnya selalu meningkat setiap tahunnya. Sejak revolusi industri sampai sekarang terjadi akumulasi gas CO₂ di atmosfer yang semakin besar, dengan konsentrasi CO₂ sebesar 390 ppm. Hal ini ditengarai sebagai penyebab terjadinya pemanasan global dan perubahan iklim. Untuk menahan laju penambahan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer perlu adanya cara untuk mengurangi karbon di atmosfer. Salah satu cara untuk mengurangi karbon dioksida CO₂ di atmosfer adalah dengan mengkonversi biomasa menjadi *biochar* dan selanjutnya *biochar* dimasukkan kedalam tanah sebagai pemuliaan tanah agar kelestarian pertanian bisa berlanjut. Bila *biochar* bisa diproduksi dalam jumlah yang besar yang setara dengan jumlah karbon yang masuk ke atmosfer, maka akan terjadi keseimbangan antara gas CO₂ yang masuk dan keluar atmosfer. Penyimpanan karbon sebesar 1 gigaton pertahun selama 40 tahun akan menghambat penambahan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer. Sehingga laju penambahan gas rumah kaca bisa dicegah.

Abstract

Global warming is predicted to occur by increasing the concentration of green house gas [GHG] in the atmosphere. Global warming has negative impact to the living thing on earth. The accumulation of GHG increases of the atmospheric temperature. There are many different types of GHG gas such as CO₂, NO_x, methane, and freon. One of the most famous GHG is CO₂, that is produced anthropogenic activities such as fossil fuel burning that quantity increases regularly every year. Since industrial revolution until now the CO₂ gas concentration in atmosphere has been accumulated to about 390 ppm. Reducing of the CO₂ concentration in atmosphere by sink down of the carbon C as *biochar* is necessary. Conversion of biomass into *biochar* is a benign way how to slowdown the increasing concentration of CO₂ in the atmosphere. The *biochar* can be used as soil amendment to support sustainable agriculture. The quantity of *biochar* produced must exceed the amount of carbon entering the atmosphere, therefore carbon balance in the atmospheric reservoir will be reached. Carbon sequestration in the amount of one gigatons per year in 40 years will maintain the CO₂ concentration in the atmosphere. The decreasing amount of CO₂ entering the atmosphere will reduce, global warming and hopefully climate change will not happened.

1. PENDAHULUAN

Konsentrasi gas CO₂ di atmosfer akan selalu meningkat karena lebih banyak gas CO₂ yang dihasilkan dibandingkan dengan yang diserap. Hal ini akan menyebabkan meningkatnya konsentrasi gas CO₂ di atmosfer yang akan mengakibatkan naiknya temperatur atmosfer bumi, yang menyebabkan terjadinya pemanasan global. Pemanasan global akan terus meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi GRK di atmosfer. Kenaikan temperatur satu abad yang lalu sebesar 1 °C, namun *World Meteorological Organisation* (WMO) mencatat bahwa tahun 2015 merupakan tahun terpanas yang pernah terjadi.^[1] Ada yang memprediksi bahwa kenaikan temperatur bisa mencapai 0,3 sampai 4,8 °C pada akhir abad ini.^[2] Pemanasan global akan menyebabkan terjadinya perubahan iklim, mencairnya es di kutub utara maupun selatan yang menyebabkan kenaikan permukaan laut, musim hujan yang tidak teratur, bertambah lebar dan kuatnya bila terjadi angin rebut.^[3] Penemuan baru menunjukkan bahwa perubahan iklim bisa menyebabkan pergeseran sumbu putar bumi.^[4] Perubahan temperatur terhadap kenaikan konsentrasi CO₂ di atmosfer ditunjukkan pada Gambar 1.

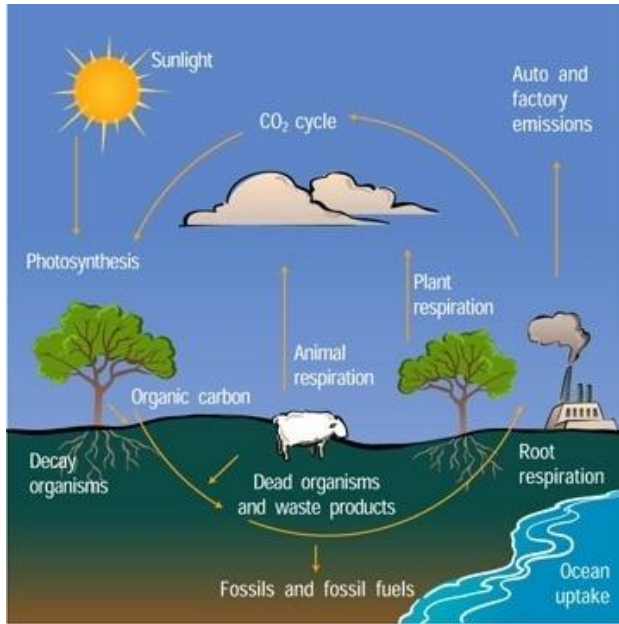


Gambar 1. Perubahan temperatur atmosfer terhadap konsentrasi gas CO₂^[5]

Atmosfir merupakan *reservoirs* gas CO₂ di bumi. Atmosfir setidaknya menyimpan karbon sebanyak 720 gigaton.^[6] Kadar karbon dalam CO₂ di atmosfer mempunyai peranan yang penting dalam perubahan temperatur di atmosfer. Konsentrasi gas CO₂ di atmosfer sekitar 0,04 % basis molar. Gas CO₂ mempunyai kemampuan menyerap panas yang menyebabkan terjadinya efek gas rumah kaca. Pada tahun 1990-an, manusia menyumbang penambahan gas CO₂ ke atmosfer sebesar 8.0 x 10¹⁵ gram (gigaton atau Pg) karbon, yang berasal dari pembakaran bahan bakar *fossil* sekitar 6,4 PgC/tahun, pembukaan lahan di daerah tropis sebesar 1,6 PgC per tahun. Sedangkan gas CO₂ yang terserap oleh lautan sebesar 28 %, terabsorpsi oleh tanah sebesar 32 %, dan sisanya sekitar 40 % menyebar di atmosfer.^[7] Pada tahun 2009 konsentrasi CO₂ secara global di atmosfer sebesar 390 ppm. ^[8] Tingkat penambahan gas CO₂ mengalami kenaikan menjadi 2,5 % pada tahun 2000 – 2009, dibandingkan 1 % setiap tahunnya antara tahun 1990 – 1999^[9]

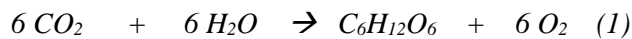
Untuk mempertahankan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer agar tetap atau menurun maka perlu adanya sistem penyimpanan karbon dalam kurun waktu yang lama. Penyimpanan karbon di dalam tanah yang juga bisa dipakai sebagai bahan perbaikan tanah (*amendment*) perlu menjadi perhatian kita semua. Karbon *sequestration* adalah proses penangkapan gas CO₂ dari atmosfer dan kemudian menyimpannya dalam waktu yang lama di dalam bumi agar supaya konsentrasi gas CO₂ di atmosfer tidak cepat meningkat. Siklus keluar masuknya karbon ke atmosfer ditunjukkan pada Gambar 2.

Ada beberapa *route* perpindahan karbon di alam, Gambar 2 menggambarkan siklus keluar masuknya karbon dari dan ke atmosfer yang berlangsung secara alami, yang bisa membuat konsentrasi gas CO₂ di atmosfer berubah-ubah. Perpindahan karbon diantaranya adalah:^[8]



Gambar 2. Skema siklus gas CO₂ di atmosfer^[10]

1) Perpindahan karbon dari atmosfer ke tumbuhan. Karbon dalam bentuk karbon dioksida yang ada di atmosfer di serap oleh dedaunan dan bereaksi dengan air menjadi gula pada proses fotosintesis untuk pertumbuhannya. Reaksi fotosintesa seperti dibawah ini.



Karbon dioksida Air Gula Oksigen

- 2) Perpindahan unsur karbon dari tumbuhan ke binatang. Tumbuhan dimakan oleh hewan yang akan menjadi daging dari hewan tersebut. Selanjutnya hewan tingkat rendah dimakan oleh hewan tingkat tinggi dan disitu terjadi perpindahan karbon dari spesies ke spesies lainnya.
- 3) Perpindahan karbon dari tumbuhan dan hewan ke tanah. Ketika tumbuhan dan hewan mati, keduanya akan jatuh ke tanah dan mengalami proses penguraian, atau terkubur dalam lapisan tanah dan menjadi *fossil* dalam jangka waktu yang lama.
- 4) Perpindahan karbon dari makhluk hidup ke atmosfer. Setiap yang hidup melakukan respirasi, yang mengeluarkan gas CO₂ ke atmosfer.
- 5) Perpindahan karbon dari *fossil* ke atmosfer. Material *fossil* ditambang kemudian

dipakai sebagai bahan bakar, akan mengeluarkan gas hasil pembakaran berupa CO₂ yang akan menyebar ke atmosfer. Pembakaran bahan bakar *fossil* ini ditengarai menyumbang gas CO₂ terbesar dibandingkan dengan sumber-sumber GRK lainnya.

- 6) Perpindahan karbon dari atmosfer ke lautan. Lautan atau badan air lainnya menyerap gas CO₂ dari udara menjadi CO₂ terlarut.
- 7) Perpindahan karbon dari senyawa karbonat seperti batuan CaCO₃ yang terurai menjadi oksida dan gas CO₂. Sebagai contoh penguraian karbonat dari pabrik semen dan pengolahan kapur.
- 8) Gunung berapi mengeluarkan asap yang mengandung gas CO₂.
- 9) Permukaan laut yang airnya makin panas akan mengakibatkan sebagian gas CO₂ yang terlarut dalam air laut akan keluar ke atmosfer.

Hal tersebut di atas merupakan bentuk-bentuk perpindahan unsur karbon yang ada di alam ini. Dalam hubungan ini kita dapat mempengaruhi proses kesetimbangan CO₂ di atmosfer supaya konsentrasinya tidak terus meningkat.

Penyimpanan *biochar* di dalam tanah mempunyai harapan yang baik sebagai penyimpanan karbon dalam kurun waktu yang cukup lama. *Biochar* di dalam tanah bisa bertahan sampai ribuan tahun.^[11,12,13] Ini merupakan daya simpan yang cukup lama. Di samping itu *biochar* di dalam tanah bisa berfungsi memperbaiki sifat tanah yang bisa menyuburkan tanah untuk keperluan pertanian. *Biochar* untuk memperbaiki sifat tanah harus melihat beberapa faktor: lama *biochar* bertahan dalam tanah; daya penghalang terhadap emisi gas rumah kaca; seberapa banyak *biochar* yang mesti ditambahkan kedalam tanah; berapa banyak *biochar* harus diproduksi agar bisa memenuhi jumlah yang diperlukan.

Ho^[14] menemukan bahwa *biochar* merupakan *recalcitrant* yang sukar teroksidasi. Endapan *biochar* di lautan stabil dalam waktu jutaan tahun, oleh karena itu *biochar* dengan kandungan karbon yang tinggi juga mempunyai

umur yang panjang. Sampai saat ini keseimbangan antara gas CO₂ yang masuk dan keluar atmosfer masih lebih banyak yang masuk. Oleh karena itu, konsentrasi gas CO₂ di atmosfer akan mengalami kenaikan secara kontinyu, dan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer makin tinggi. Kemudian ada proses penggunaan gas CO₂ oleh tanah, mikroba atau reaksi kimia di atmosfer yang bisa mengurangi konsentrasi gas CO₂. Salah satu pengurangan gas CO₂ dari atmosfer dalam jumlah besar adalah proses fotosintesis oleh tanaman yang memanfaatkan CO₂ dari udara untuk direaksikan dengan air menjadi gula dan selanjutnya gula dirubah menjadi jaringan untuk tumbuhan tersebut. Setelah tumbuhan tersebut mati maka jaringan dari tumbuhan tersebut akan terurai oleh mikroorganisme kembali menjadi gas CO₂ dan menyebar lagi ke atmosfer. Boleh dikatakan bahwa tumbuhan merupakan sistem penyimpan karbon sementara, proses penyimpanan ini dalam skala tahun sampai abad lamanya.

Ada pula proses penyimpanan karbon dalam waktu yang lebih lama sampai ribuan tahun, yaitu penyimpanan karbon dalam bentuk *biochar* di dalam tanah. Semua jaringan tumbuhan yang tidak digunakan sebaiknya dikonversi menjadi *biochar* atau arang dengan proses karbonisasi, setelah itu arang tersebut dipakai sebagai bahan perbaikan tanah, disitu karbon bisa tinggal dalam waktu ribuan tahun.^[11,12,13] Penyimpanan karbon di dalam tanah merupakan karbon-negatif yang perlu dilakukan oleh semua pihak agar bisa mengurangi konsentrasi gas CO₂ di atmosfer.

2. FUNGSI BIOCHAR

2.1. *Biochar* sebagai penyimpan karbon

Karbon positif adalah proses penambahan karbon dalam CO₂ ke atmosfer, sedangkan karbon negatif adalah proses pengurangan karbon dari atmosfer. Untuk menghambat terjadinya pemanasan global perlu diusahakan karbon negatif yang lebih intensif.^[15] Karbon negatif seperti penanaman tumbuh-tumbuhan akan meningkatkan proses fotosintesa. Biomasa yang dikonversi menjadi *biochar* kemudian dipakai untuk pemuliaan

tanah pertanian. Supaya tidak banyak perubahan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer, maka harus ada keseimbangan antara karbon positif dan karbon negatif.

Setelah tanaman mati, biomasa yang ditinggalkan cepat terurai menjadi gas CO₂ da kembali ke atmosfer baik melalui pembakaran atau peruraian anaerobik. Bila biomasa yang sudah mati dikonversi menjadi *biochar* dalam proses pirolisa atau karbonisasi hidrotermal, *biochar* yang diperoleh disimpan di dalam tanah sebagai penyubur tanah.

Biochar merupakan senyawa yang sangat stabil, sukar terurai oleh oksidasi mikroba di dalam tanah.^[16] Konversi biomasa menjadi *biochar* adalah transformasi dinamis yang berhubungan dengan karbon *sequestration*. Dalam proses karbonisasi biomasa setidaknya 50% karbon yang ada diubah menjadi karbon *biochar*.^[17] Proses pengomposan biomasa di dalam tanah akan mengeluarkan karbon dengan lambat, sampai kadar karbon tersisa sekitar 10 – 20%, dimana kompos yang dihasilkan sudah dianggap stabil. Kompos ini akan berada di dalam tanah sekitar 5 sampai 10 tahun. *Biochar* berada di dalam tanah jauh lebih lama, dan fungsi *biochar* sebagai penyimpan nutrisi lebih baik dibandingkan dengan kompos.^[18]

Cara yang paling baik untuk menyimpan karbon adalah dengan memanfaatkan sisa-sisa tanaman yang berupa limbah biomasa untuk dikonversi menjadi *biochar*. Limbah pertanian dan kehutanan bila semuanya dikonversi menjadi *biochar* akan bisa membantu untuk melawan perubahan iklim global dengan beberapa cara:

- 1) Secara langsung menyimpan *biochar* dalam tanah sebagai karbon yang stabil.
- 2) Memindahkan bentuk karbon-positif dari energi *fossil*
- 3) Meningkatkan secara global *Net Primary Production* (NPP) dan kesuburan tanah
- 4) Mengurangi emisi gas nitrous oksida

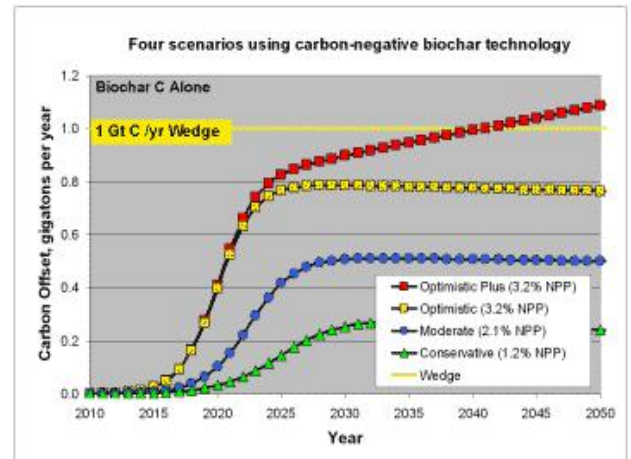
Ada beberapa skenario dengan model yang lebih *simple* yang diusulkan oleh Amonette^[19] dan Amonette^[20]. Yaitu dihitung dari produksi *biochar*, ketersediaan biomasa

dan lahan penyimpanannya, kestabilan *biochar* ketika disimpan dalam tanah.

Stabilitas *biochar* di dalam tanah juga merupakan faktor yang penting. *Biochar* biasanya sangat stabil di dalam tanah. Stabilitas *biochar* tergantung dari temperatur prosesnya, misalnya proses pirolisa pada suhu 400°C lebih stabil dibandingkan dengan proses suhu 1000 °C pada oksidasi dengan ozon.^[21] Kadar aromatik pada *biochar* akan naik pada suhu pirolisa yang lebih tinggi dari 700 °C.^[22]

Untuk mempertahankan emisi karbon pada tahun 2055 setara dengan emisi karbon pada tahun 2015, perlu penyimpanan karbon sebesar 7 *wedges* (gigaton atau Pg) karbon.^[23] Namun, *International Biochar Initiative* (IBI), menargetkan pengurangan emisi karbon setiap tahunnya sebesar 1 gigaton atau “one *wedge*”.^[24] Ada beberapa skenario yang bisa dipakai untuk memprediksi pengurangan emisi karbon di atmosfer, berdasarkan kelestarian ketersediaan biomasa dari *global net primary production* (NPP). Skenario pertama adalah sangat optimis, kedua optimis, ketiga moderat, dan keempat konservatif. Skenario konservatif menurut Krausmann,^[25] hanya tersedia 27 % sisa-sisa biomasa dari hasil panen dan kehutanan yang bisa dipakai untuk *biochar*. Sedangkan skenario moderat dan optimis sekitar 50 sampai 80%. Skenario sangat optimis adalah skenario optimis ditambah dengan potensi penambahan NPP sebesar 25%, dan penurunan emisi N₂O sebesar 50% dari pemakaian *biochar* di dalam tanah.^[26]

Pada skenario sangat optimistik *full wedge* akan tercapai pada tahun 2040. Ketiga skenario diatas memprediksi bahwa pengaruh pengurangan emisi karbon sudah bisa dirasakan mulai tahun 2025.^[21] Hanya skenario yang optimis plus yang bisa mencapai 1 *wedge* pada tahun 2040.^[24] Ini merupakan usaha yang keras yang harus dilakukan untuk memproduksi *biochar* dalam jumlah yang besar untuk memenuhi skenario tersebut. Skenario pengurangan emisi karbon seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skenario pengurangan karbon^[24]

2.2. *Biochar* sebagai media perbaikan tanah pertanian

Biochar merupakan karbon hitam yang diproduksi dari peruraian biomasa pada lingkungan yang tidak ada oksigennya seperti pirolisa atau gasifikasi. *Biochar* yang dihasilkan tidak seratus persen karbon, namun ada pengotornya seperti, tar, volatil, dan zat kimia lainnya seperti aromatik. *Biochar* yang baik untuk pemuliaan tanah adalah yang sangat sedikit pengotornya. *Biochar* berfungsi sebagai media penyimpan karbon dan penyubur tanah.^[13]

Hal yang penting berkenaan dengan pemakaian *biochar* sebagai perbaikan sifat tanah (*amendment*), adalah (i) meningkatkan pertumbuhan; (ii) produksi *biochar*; (iii) penggunaan kembali limbah pertanian; (iv) produksi energi dari bahan baku terbarukan; (v) produksi *biochar* dari tanaman yang cepat tumbuh.^[17]

Biomasa mengandung karbon sekitar 50% yang dalam waktu singkat dapat dirubah menjadi *biochar* yang stabil dengan proses karbonisasi.^[27] Sebaliknya senyawa organik akan terdekomposisi di dalam tanah dengan mengeluarkan unsur karbon yang lebih lambat. Keluarnya unsur karbon berlangsung kurang dari 1 tahun untuk daerah tropis sehingga stabil di dalam tanah dalam bentuk kompos.^[28]

1) Meningkatkan pertumbuhan

Berdasarkan penelitian di daerah tropis maupun subtropis *biochar* bisa meningkatkan

pertumbuhan tanaman, mengurangi kehilangan nutrisi, menambah penahanan air, dan meningkatkan aktifitas mikroba.^[29,30] Total pertumbuhan biomasa tanaman bisa mencapai 189% setelah pemakaian *biochar* sebanyak 23,2 ton setiap hektarnya. Produktifitas padi juga meningkat dengan penambahan *biochar*.^[31] Penelitian mengindikasikan bahwa fiksasi nitrogen oleh mikroba meningkat setelah adanya pemakaian *biochar*.^[32] Penelitian juga memperlihatkan bahwa pertumbuhan tanaman makin baik setelah *biochar* menyatu dengan tanah.^[33,34]

Pemakaian *biochar* untuk tanaman mempunyai efek yang kurang baik pada awalnya karena terjadinya perubahan pH pada tanah, banyaknya bahan yang volatil, dan perubahan konsentrasi nutrient secara mendadak.^[35] Disarankan agar pemberian *biochar* beberapa minggu sebelum memulai menanam, agar ada masa penyesuaian. Kualitas *biochar* yang baik meliputi kemampuan kapasitas adsorpsi, kapasitas penukaran kation, dan mengandung sedikit bahan yang mudah berpindah seperti tar, resin, dan zat volatil. Dengan berjalannya waktu kemampuan adsorpsi akan berkurang, sedangkan kapasitas penukaran kation bertambah.^[33]

Jumlah *biochar* yang bisa ditambahkan kedalam tanah agar masih memberi manfaat adalah sebanyak 40%.^[36] Sebagai contoh pada *Amazonian dark earths*, produktifitas tanahnya lebih baik dibandingkan dengan tanah yang tidak ada karbonnya.^[37] Tanah yang diberi *biochar* menunjukkan produktifitasnya naik walaupun penambahannya sampai 140 Mg C/ha (Mega gram C/ha).^[38] Pada konsentrasi lebih tinggi lagi, sebesar 160 Mg C/ha untuk tanaman kacang-kacangan tidak menunjukkan kenaikan yang berarti.^[39] Respon tanaman terhadap penambahan *biochar* menunjukkan penurunan jika diberi *biochar* dalam jumlah yang sangat tinggi.^[39]

Biochar berguna untuk memperbaiki sifat-sifat tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah^[29], terutama sebagai,

(1) Menaikan pH tanah. Arang mempunyai pH sekitar 9, ini sangat berguna bila pH tanah rendah, namun tidak baik bila pH tanah

sudah tinggi. Bila pH tanah rendah maka akan terjadi netralisasi pH tanah, kalau pH tanah sudah tinggi maka pH tanah akan makin tinggi lagi.

- (2) Penambahan nutrisi kedalam tanah. Abu arang banyak mengandung nutrisi yang dibutuhkan tanaman, namun penyediaan nutrisi ini untuk periode yang pendek saja. Setelah terjadi pembasuhan nutrisi oleh air, maka nutrisi di dalam arang akan berkurang dan akan habis dengan berjalannya waktu. Bila kadar nutrisi di dalam tanah tinggi maka arang menyerap kelebihan nutrisi dari tanah. Selanjutnya, bila kadar nutrisi tanah berkurang, maka nutrisi akan terlarut kedalam tanah kembali, semacam menjadi regulator pelepasan nutrisi.
- (3) Permukaan *biochar* yang *porous* mampu menahan nutrisi yang ada di dalam tanah. Dengan berjalannya waktu nutrisi tersebut bisa digunakan oleh tanaman. Ini merupakan kegunaan *biochar* dalam jangka panjang. *Biochar* bisa bertahan di dalam tanah selama ribuan tahun.
- (4) *Biochar* juga memperbaiki sifat-sifat fisika tanah. *Biochar* mempunyai densitas yang rendah dan sangat *porous*. Ini merupakan semacam *spon* yang bisa menyimpan air, yang bisa digunakan tanaman selama musim kering. *Biochar* juga bisa memperbaiki sifat penyerapan tanah terhadap air permukaan, dan mengurangi kekompakan tanah. *Biochar* bila ditambahkan pada tanah berpasir membantu menahan air, dan bila ditambahkan ke tanah yang berlempung maka akan memperbaiki aerasi tanah tersebut.^[40,41]
- (5) Karena *biochar* sangat *porous* maka merupakan tempat yang baik untuk tumbuhnya mikroba, seperti *rhyzobia* dan *mycorrhizal* yang merupakan mikroba penambat nitrogen yang sangat berguna untuk penyediaan nutrisi tanaman.^[42] *Biochar* dipandang sebagai bahan organik tanah sangat efektif untuk menahan nutrisi untuk persediaan tanaman. *Biochar* lebih stabil sebagai penyedia nutrisi

dibandingkan dengan kompos atau kotoran binatang.^[43]

Biochar sebagai *soil amendment* bisa meningkatkan produktifitas padi, memperbaiki pH tanah, manambah karbon tanah dan nitrogen total.^[44]

2) Potensi limbah pertanian dan hutan untuk produksi *biochar*

Dalam sistem industri pertanian dan kehutanan akan dihasilkan limbah biomasa dengan jumlah yang sangat besar.^[45] Limbah biomasa tersusun oleh selulosa, hemi-selulosa dan lignin, dan lignin mempunyai prosentase karbon yang tinggi. Biomasa yang mempunyai kadar lignin yang tinggi baik untuk produksi *biochar*.^[46]

Limbah biomasa seperti (i) sisa-sisa kegiatan hutan, sisa-sisa hasil penebangan dan kayu yang sudah mati; (ii) sisa-sisa pengolahan kayu, limbah penggergajian; (iii) sisa-sisa hasil panen; (iv) limbah rumah tangga.^[47] Perhitungan produksi *biochar* untuk mengurangi karbon C di atmosfer ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Karbon *sequestration*^[48]

Jenis limbah biomasa	Jumlah (Juta Ton) pada Tahun 2009	Jumlah <i>biochar</i> (Juta Ton)	Karbon yang ada pada <i>biochar</i> (Juta Ton)	Pengurangan gas CO ₂ (Juta Ton)
Padi-padian	678	226,04	93,85	275,3
Kacang-kacangan	29	12,249	8,574	25,15
Kotoran binatang	900	330,21	108,9	319,64
Limbah yang tidak dibakar	817	200,32	150,4	441,31
Kulit dari biji-bijian	250	112,25	39,38	115,53

3) Produksi *biochar* dari limbah tanaman

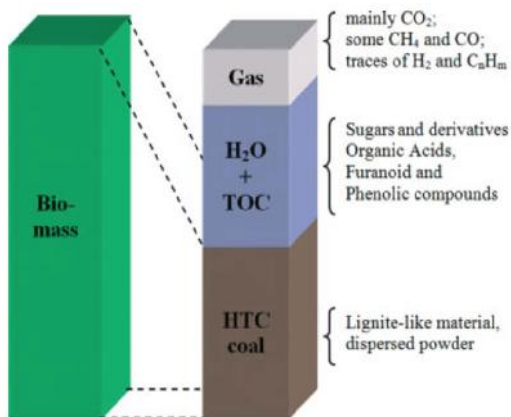
Sejak revolusi Industri pembuatan *biochar* lebih banyak dilakukan di negara-negara berkembang dibandingkan dengan negara maju. Negara-negara Industri sudah beralih ke energi *fossil* dan batubara, sedangkan negara berkembang masih mengandalkan energi biomasa terutama kayu.^[49] Pemakaian energi biomasa meningkatkan penebangan hutan secara masif dan menimbulkan polusi udara karena sistem pembakaran yang tidak efisien. Perbaikan teknologi pembuatan *biochar* dapat mengurangi polusi udara, seperti pemakaian teknologi karbonisasi hidrotermal yang lebih sedikit menghasilkan gas.^[48]

Penggunaan lahan pertanian untuk ditanami tanaman yang cepat tumbuh yang dipakai sebagai bahan baku *biochar* mempunyai arti akan mengurangi emisi gas CO₂ ke atmosfer.^[50] Tingginya ongkos produksi *biochar* menyebabkan produksi *biochar* tidak layak. Oleh karena itu untuk membuat produksi *biochar* bisa dilakukan dengan sistem terintegrasi antara lain dimanfaatkannya produk samping yang berupa *bio-fuels*, agar supaya usaha *biochar* bias layak. Varietas tanaman yang cepat dipanen dipakai sebagai bahan baku *biochar* seperti rumput-rumputan,^[51] dan tanaman obat.^[52] Kriteria yang harus dipenuhi tanaman untuk produksi biomasa adalah tingkat produksi biomasa per hektarnya.

Di samping itu makin banyak limbah biomasa dengan kadar air yang tinggi yang tidak bisa diproses dengan teknik pirolisa atau gasifikasi. Proses karbonisasi hidrotermal bisa memproses limbah dengan kadar air yang tinggi, tidak perlu proses pengeringan atau disebut *wet pyrolysis*.^[53] Karbonisasi hidrotermal diharapkan sebagai proses yang bisa diandalkan untuk limbah-limbah organik dengan kadar air yang tinggi yang biasanya menjadi pencemar, seperti limbah kotoran binatang, sewage *sludge*, *biowaste*, dan limbah industri pertanian.^[54] Dibandingkan dengan proses pirolisa, karbonisasi hidrotermal tidak perlu proses pengeringan yang banyak memerlukan energi. Hasil proses hidrotermal karbonisasi adalah karbon yang tersuspensi yang mudah dipisahkan dari larutannya.

Proses karbonisasi hidrotermal sangat fleksibel dalam pemilihan bahan bakunya, semua jenis biomasa bisa diproses.^[27] Kotoran binatang, limbah kota, limbah pertanian, dan *algae* bisa diproses dengan karbonisasi hidrotermal.^[54]

Efisiensi konversi biomasa menjadi *biochar* sangat tergantung dari jenis biomasa yang diproses terutama komposisi selulosa, hemiselulosa dan ligninnya, namun tidak banyak pengaruh dari temperatur proses pirolisisnya (suhu antara 350 – 500 °C).^[16] Struktur *biochar* yang dihasilkan masih menyerupai struktur biomasa bahan bakunya, dan merupakan material yang sangat *porous* dan mempunyai luas permukaan yang besar.^[43] Konversi biomasa dengan proses hidrotermal akan menghasilkan tiga fraksi yaitu, gas, organik terlarut dan padatan karbon^[27], seperti skema pada gambar 4.



Gambar 4. Peruraian biomasa menjadi gas, cairan dan padatan^[27]

2.3. Arang *biochar* untuk mendukung lingkungan

Beberapa studi tentang *biochar* menyatakan bahwa *biochar* bisa bertahan di dalam tanah selama berabad-abad sampai ribuan tahun.^[13] Ini karena *biochar* merupakan material yang sangat stabil tahan terhadap mikroba pengurai. *Biochar* lebih bersifat rekalsitran dibandingkan dengan bahan bakunya.^[30] *Biochar* sangat *porous*, sangat berguna untuk penyerapan unsur-unsur dalam tanah. *Biochar* berguna untuk lingkungan seperti:

- 1) Mengurangi pemakaian pupuk kimia. Terutama unsur nitrogen. *Biochar* mengabsorpsi ion-ion NO₃⁻ dan NH₄⁺ lebih besar dari 0,6 mg/g *biochar*.^[32] *Biochar* akan mengurangi tingkat pembasuhan (*leaching*) dari mineral dan kation.^[55]
- 2) Mengurangi polusi nutrien yang ada di badan-badan air, karena nutrisi tersebut bisa diserap oleh *biochar* yang mempunyai banyak pori-pori. Kegiatan pertanian sangat potensial menyebarkan polusi nutrien di badan-badan air seperti nitrogen dan pospor.
- 3) *Biochar* akan mengurangi produksi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh tanah.
- 4) *Biochar* akan mengurangi mobilitas logam-logam berat dan pestisida di dalam tanah. Efek yang baik dari *biochar* terhadap tanah ini bisa dipakai sebagai alat untuk penanaman tumbuhan pada tanah yang terkontaminasi atau tanah yang telah terdegradasi.^[43]

Pemakaian *biochar* di dalam tanah juga mampu mengurangi emisi gas rumah kaca lainnya. Penambahan *biochar* sebesar 20 g/kg tanah dapat mengurangi emisi gas metan.^[56] Emisi nitrous oksida berkurang sampai 50% pada pemakaian *biochar* pada tanaman kacang-kacangan dan 80% pada tanaman rumput-rumputan.

3. KESIMPULAN

Selama penambahan konsentrasi gas rumah kaca (GRK) berlangsung, maka pemanasan global akan terus terjadi. Pemanasan global akan mengakibatkan terjadinya perubahan iklim yang ekstrim. CO₂ dari hasil pembakaran bahan bakar *fossil* berperan besar dalam meningkatkan konsentrasi gas CO₂ di atmosfer. Sejak masa revolusi industri di Eropa, keseimbangan gas CO₂ yang masuk dan keluar atmosfer menjadi terganggu karena konsentrasi CO₂ di atmosfer meningkat. Untuk itu perlu usaha untuk mengurangi karbon CO₂ dari atmosfer, misalnya dengan cara menyimpan *biochar* di dalam tanah dengan waktu yang cukup lama. Di dalam tanah, *biochar* dapat berfungsi sebagai

penyubur tanah, sehingga bisa menjamin pertanian yang berkelanjutan. Menurut perkiraan, bila ada pengurangan karbon setara dengan 1 gigatons pertahun selama 40 tahun maka tingkat konsentrasi gas CO₂ di atmosfer akan cenderung tetap. Untuk bisa mengurangi karbon dari atmosfer maka perlu diproduksi arang *biochar* dalam jumlah yang sangat banyak dengan menggunakan bahan baku sisa-sisa limbah organik atau biomasa. Hal ini perlu mendapat perhatian kita semua, bagaimana caranya membuat *biochar* dari sisa-sisa tanaman dalam jumlah yang sangat besar. Selama ini *biochar* diproduksi dengan proses pirolisa, yang juga menghasilkan gas CO₂, yang langsung kembali ke atmosfer. Untuk mengurangi gas yang terjadi, proses karbonisasi hidrotermal merupakan proses yang lebih baik. Proses karbonisasi hidrotermal akan menghasilkan sedikit gas, zat organik terlarut dan padatan *biochar*. Di samping itu, proses karbonisasi hidrotermal bisa memproses berbagai jenis biomasa, seperti limbah biomasa dengan kadar air tinggi, kotoran binatang, dan limbah biogas yang tidak terurai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Connor. “Global warming: world already halfway towards threshold that could result in dangerous climate change, say scientists.” *Independent*, vol. 10, Nov. 2015.
- [2] J. Vidal. “Climate change will hit poor countries hardest, study shows.” *Global Development*, Friday, 27 Sep. 2013.
- [3] F. Harvey. “Climate change: How hot will it get in my lifetime?,” in IPCC climate report: Human impact is ‘unequivocal’. Intergovernmental panel on climate change (IPCC), Friday, Sep. 27, 2013.
- [4] B. Kahn. “Climate change is messing with Earth’s Axis. Climate Central, Apr. 11, 2016.
- [5] Effects of changing the Carbon Cycle: Feature article.
- http://earthobservatory.nasa.gov/features/carbon_cycle/page_5.php/. (diakses tgl. 14 Agt. 2014).
- [6] P. Falkowski, R.J. Scholes, E. Boyle, J. Canadell, D. Canfield, J. Elser, N. Gruber, K. Hibbard, P. Hogberg, S. Linder, F.T. Mackenzie, B. Moore, T. Pedersen, Y. Rosenthal, S. Seitzinger, V. Smetacek, W. Steffen. “The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as A System.” *Science*, vol. 290 (5490), pp. 291-296, 2000.
- [7] Anon1. Carbon and Climate. <http://carboncycle.aos.wisc.edu/> (diakses tgl. 11 Agt. 2014).
- [8] J.M. Shepherd. “Carbon, climate change, and controversy.” *Animal Frontiers*, vol.1 (1), pp. 5 – 13, 2011.
- [9] P. Friedlingstein, R.A. Houghton, G. Marland, I. Hacker, T.A. Roden, T.L. Conway, G. Canadell, M.R. Raunach, P. Ciais, C. Le Quere. “Update on CO₂ emissions.” *Nature Geoscience*. Doi: 10.1038/ngeo1022, 2010.
- [10] R. Johnson. “The Carbon Cycle.” *Window to the universe*, 7 Nov. 2010.
- [11] E. Vaegele. “ACR accepting comments on biochar methodology for carbon credits”. *Biomass*, Oct 02, 2013.
- [12] B. Titiz and R. Sanford. “Soil Charcoal in Old-Growth Rain Forests from Sea Level to the Continental Divide.” *Biotropica*, vol. 39, pp. 673-682, 2007.
- [13] S.P. Sohi, E. Krull, E. Lopez-Capel, and R. Bol. A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil. *Advances in Agronomy*, vol. 105, Burlington: Academic Press, pp. 47-82, 2010.
- [14] M.W. Ho. (2010). Beware the biochar initiative. /global-warming/beware the biochar initiative- The Permaculture Research In...../ (diakses 06 Mei 2016).
- [15] N.P. Gurwick, C. Kelly and P. Elias. “The Scientific Basis for Biochar as A Climate Change Mitigation Strategy: Does it

- Measure Up?. Union of Concerned Scientists, pp. 1-15. Sep. 2012.
- [16] E.R. Graber. “Biochar for 21st century challenges: Carbon sink, energy source and soil conditioner.” Conf.Proc.,Dahlia Gredinger Int. Symp. Haifa, May 2009.
- [17] S.K. Hoekman, A. Broch, C. Robbins, B. Zielenska and L. Felix. “Hydrothermal carbonization (HTC) of selected woody and herbaceous biomass feedstocks.” Biomass Conv. Bioref, vol. 3 (2), pp. 113-126, 2013.
- [18] S.V. Praba, et al. “A Study of the fertility and carbon sequestration potential of rice soil with respect to the application of biochar and selected amendments.” Annals of Environmental Science, vol. 7, pp.17-30, 2013.
- [19] J.E. Amonette, J.C. Lehmann, and S. Joseph. “Terrestrial Carbon Sequestration with biochar: A preliminary Assessment of its Global potential,” presented at American Geophysical Union, San Francisco, CA, Dec. 13, 2007.
- [20] J.E. Amonette, J.C. Lehmann, and S. Joseph. “Biomass carbonization: The dark side of terrestrial Carbon Sequestration. Poster presented at “Climate Change: Science and Solutions”, 8th National Conf. on Science, Policy and the Environment, Washington, DC, Jan. 16, 2008.
- [21] K. Kawamoto, K. Ishimaru, and Y. Imamura. “Reactivity of wood charcoal with ozone.” J. Wood Science, vol. 51, pp. 66-72, 2005.
- [22] U. Hamer, B. Marschner, S. Brodowski, and W. Amelung. “Iterative priming of black carbon and glucose mineralization.” Organic Geochemistry, vol. 35, pp. 823-830, 2004.
- [23] S. Pacala and R. Socolow. “Stabilization wedges: Solving the climate problem for the next 50 years with current technologies.” Science, vol. 205, pp. 968-972, 2004.
- [24] Anon2. How much carbon Can Biochar System Offset- and When?. International Biochar Initiative.
www.biochar-international.org. (diakses tanggal 28 Okt. 2014).
- [25] F. Krausmann, K.H. Erb, S. Gingrich, C. Lauk, and H. Haberl. “Global patterns of socioeconomic biomass flows in the year 2000: A comprehensive assessment of supply, consumption and constraints.” Ecological Economics, vol. 65, pp. 471-487, 2008.
- [26] P.J. Crutzen, A.R. Mosier, K.A. Smith, and W. Winiwarter. “N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels.” Atmospheric Chemistry and Physics Discussions, vol. 7, pp. 11191-11205, 2007.
- [27] A. Funke and F. Ziegler. “Hydrothermal carbonization of biomass: a summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering.” S.1: Biofuels. Bioprod. Bioref, vol. 4, pp. 160-177, 2010.
- [28] N. Ameloot, E.R. Graber, F.G.A. Verheijen, and S. De Neve. “Interactions between biochar Stability and Soil Organisms: review and research needs.” European Journal of Soil Science, vol. 64, pp. 379-390, 2013. Doi: 10.1111/ejess.12064.
- [29] L. Macdonald. “Biochar overview: Biochar as a soil amendment in agriculture. CSIRO, Australia, pp. 1-4, 2013.
- [30] S. Trumbore. “Age of Soil organic matter and Soil respiration: Radiocarbon constrains on Belowground C Dynamics.” Ecological Applications, vol. 10 (2), pp. 399-411, 2000.
- [31] A. Zhang, et al. “Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and green house gas emission in a chinese rice paddy: A field study of 2 consecutive rice growing cycles.” Field crops Research, vol. 127, pp. 153-160, 2012.

- [32] T.J. Clough, et al. “A Review of biochar and Soil Nitrogen Dynamics.” *Agronomy*, vol. 3, pp. 275-293, 2013.
- [33] P. Rastanlimar, U. Prawiro, dan E. Turmudi. “Pemanfaatan biochar untuk perbaikan Kualitas tanah dengan Indikator Tanaman Jagung hibrida dan Padi Gogo pada sistem lahan tebang dan bakar.” *NATURALIS*, vol.1 (3), pp. 179 -188, 2012).
- [34] Major, J., M. Rondon, D. Molina, S.J. Riha, and J. Lehmann. “Maize yield and nutrition after 4 years of doing biochar application to a colombian savanna oxisol.” *Plant and Soil*, vol. 333, pp. 117-128, 2010.
- [35] T. McClellan, J. Deenik, G. Uehara, and M. Antal. “Effects of flashed carbonized macadamia nutshell charcoal on plant growth and soil chemical properties,” ASA-CSSA-SSA international Annual Meetings, New Orleans, Louisiana, USA, Nov. 6, 2007.
- [36] B. Glasner, L. Haumaier, G. Guggenberger, and W. Zech. “The Terra Preta phenomena – A model for sustainable agriculture in the humid tropics.” *Naturwissenschaften*, vol. 88, pp. 37-41, 2001.
- [37] J. Lehmann, D.C. Kern, L.A. German, J. McCann, G.C. Martins, and A. Moreira. *Soil fertility and Production Potential. Amazonian Dark Eraths; Origin, Properties, Management*, pp. 105-124, Dordrecht, Kluwer Academic Pub., 2003.
- [38] J. Lehmann and M. Rondon. *Biochar soil management on highly-weathered soils in the humid tropics. Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*. Boca Raton, CRC Press, 2005.
- [39] M. Rondon, J. Lehmann, J. Ramirez, and M.P. Hurtado. “Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris*) increases with charcoal additions to soils.” In *Integrated Soil Fertility Management in the Tropics*, Annual Report of the TSBF Institute, CIAT, Cali, Colombia, pp. 58-60, 2004.
- [40] E.R. Graber. “Biochar for 21st Century Challenges: Carbon sink, energy source and soil conditioner.” *Conference Proceedings, Dahlia Gredinger International Symposium*, Haifa, pp. 1-8, May 2009.
- [41] L. Ouyang, F. Wang, J. Tang, L. Yu, and R. Zhang. “Effects of biochar amendment on soil aggregates and hydraulic properties.” *J Soil Science and Plant Nutrition*, vol. 13 (4), pp. 991- 1002, 2013.
- [42] J. Major. *Biochar: a new soil management tool for farmers and gardeners*, 2011.
- [43] International Biochar Initiative. *Appalachian Sustainable Development*, Report, pp. 1-12.
- [44] K.Y. Chan, L.V. Zwieten, I. Meszaros, A. Downie, and S. Joseph. “Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment.” *Australian J. Soil Res*, vol. 45, pp. 629-634, 2007.
- [45] A. Zhang, R. Bian, G. Pan, L. Cui, Q. Husaain, L. Li, J. Zheng, X. Zhang, X. Han, and X.D. Yu. “Effects of biochar amendment on soil quality, crop yield and greenhouse gas emission in a Chinese rice padday: A field study of 2 consecutive rice growing cycles.” *Field Crops Research*, vol. 127, pp. 153-160, 2012.
- [46] R. Bailis, M. Ezzati, and D.M. Kammen. “Mortality and greenhouse gas impacts of biomass and petroleum energy futures in Africa.” *Science*, vol. 208, pp. 98- 103, 2005.
- [47] M.E. Walsh, R.L. Perlack, A. Turhollow, D.T. Ugarte, D.A. Becker, R.L. Graham, S.E. Slinksy, and D.E. Ray. *Biomass Feedstock Available in the United State. State Level Analysis*, Oak Ridge National Laboratory: Oak Ridge, TN, 1999.
- [48] E. Maftu’ah dan D. Nursyamsi. “Potensi berbagai bahan organik rawa sebagai sumber biochar.” *Pros. Sem. Nas. Masy. Biodiv. Indonesia*, vol. 1 (4), pp. 776-781, 2015.

- [49] A. Stoye. Biochar production for carbon sequestration, bachelor thesis of science in Chemical Engineering. Shanghai Jiao Tong University, China, 2011.
- [50] A.A. Ernsting. A climate smart solution. In *Climate Change and Agriculture.. VISUELL, Werbung und Kommunikation*, Aachen, Germany, 2011.
- [51] W. Seifritz. “Should we store carbon in charcoal?” *Int. J. of hydrogen Energy*, vol. 18, pp. 405-407, 1993.
- [52] J.C. Clifton-Brown, P.F. Stampfl, M.B. Jones. “Miscanthus biomass production for energy in Europe and its potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions.” *Global Change Biology*, vol. 10, pp. 509-518, 2004.
- [53] J. Kamm. “A new class of plants for a biofuel feedstock energy crop.” *Applied Biochemistry and Biotechnology*. Vol 113, pp. 55-70, 2004.
- [54] H.G. Ramke, et al. Hydrothermal carbonization of organic waste. *Sardina: Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium*, 2009.
- [55] J.A. Libra, et al. “Hydrothermal carbonization of biomass residuals: a comparative review of the chemistry processes and application of wet and dry pyrolysis.” *Biofuels*, vol. 2 (1), pp. 89-124.
- [56] M.P. Sika. Effect of biochar on chemistry, nutrient uptake and fertilizer mobility in sandy soil, master thesis in Agriculture, The University of Stellenbosch, South Africa, 2012.
- [57] M. Rondon, J. Ramirez, J. Lehmann. “Charcoal additions reduce net emissions of greenhouse gases to the atmosphere.” In *Proceedings of the 3rd USDA Symposium on Greenhouse Gases and Carbon Sequestration*, Baltimore, USA, pp. 208, Mar. 21-24, 2005.