

BIOCHAR

Arang Hitam Pembenh Tanah Pertanian

**Mukhlis
Benny Hidayat
T. Sabrina**

Kata Pengantar

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan kesempatan dan kesehatan kepada penulis untuk menyelesaikan penulisan buku yang berjudul Biochar – Arang Hitam Pembenh Tanah Pertanian.

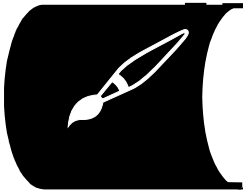
Biochar merupakan salah satu isu pertanian yang menjadi trend untuk diteliti saat ini. Di luar negeri biochar sudah dikupas tuntas, bahkan sudah menjadi bahan ekonomi yang diperdagangkan, tetapi sayangnya di Indonesia biochar belum banyak di ketahui masyarakat, bahkan oleh para dosen dosen pertanian. Hal ini disebabkan oleh belum adanya buku yang menjadi panduan dan patokan untuk mengetahui biochar secara menyeluruh.

Buku ini diharapkan dapat menjadi patokan dasar untuk mengetahui tentang biochar, sehingga dapat menjadi referensi bagi para peneliti dan mahasiswa untuk meneliti dan mengetahui lebih mendalam tentang biochar, sehingga biochar dapat diketahui secara luas dan dimanfaatkan oleh para petani dan pengiat lingkungan dalam mengurangi emisi karbon yang berdampak kepada pemanasan global.

Akhirnya penulis berharap buku ini dapat bermanfaat dan insyaa Allah akan terbit buku buku biochar lainnya seiringan dengan banyaknya penelitian yang telah dilakukan, dengan mengharapkan ridho Allah SWT kami meminta masukan dan saran untuk kemajuan dunia biochar. Salam Biochar...

Wassalam

Penulis

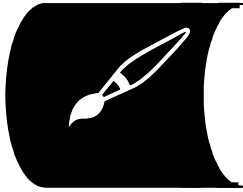


Daftar Isi

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
I. PENDAHULUAN	1
Bahan Bacaan	6
II. SEJARAH ASAL PENEMUAN BIOCHAR	8
Penggunaan Arang	8
Tanah Terra Preta	8
Perkembangan Penelitian Biochar	12
Bahan Bacaan	15
III. TEKNOLOGI PRODUKSI BIOCHAR	14
Pendahuluan.....	16
Bahan Baku Biochar	17
1. Biomassa lignoselulosa	18
a. Selulosa	19
b. Hemmiselulosa	20
c. Lignin	21
Pembuatan Biochar (Proses Kabonisasi).....	25
1. Pirolisis	25
2. Gasifikasi	35
3. Torrefaksi	37
Prinsip-Prinsip Produksi Biochar	41
1. Produksi biochar skala kecil dan tradisional	41
2. Desain Kiln Dan Penilaian Kualitas Biochar	44
Bahan Bacaan	48
IV. SIFAT DAN KARAKTERISTIK BIOCHAR	50
Faktor yang Menentukan Sifat Biochar.....	50
1. Bahan Baku.....	50
2. Suhu.....	51
3. Waktu Tinggal.....	56
4. Pra-perlakuan.....	57

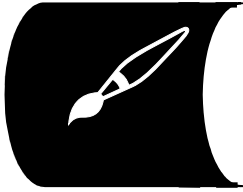
Sifat Fisik Biochar.....	58
1. Pori-pori.....	59
2. Luas Permukaan.....	61
3. Distribusi Ukuran Partikel.....	63
4. Kerapatan (Densiti) Massa Jenis.....	63
5. Kekuatan Mekanik.....	64
Sifat Kimia Biochar.....	65
1. Sifat mikrochemical.....	66
2. Group Fungsional Permukaan.....	70
3. Karakteristik organo-kimia.....	72
4. pH.....	73
5. Daya Hantar Listrik (DHL).....	74
6. Kapasitas Tukar Kation (KTK).....	74
7. Kadar Hara Biochar.....	75
Karakterisasi Biochar.....	81
1. Spektroskopi inframerah transformasi Fourier (FTIR).....	82
2. Pemindaian mikroskop elektron (SEM).....	82
3. Difraksi sinar-X (XRD).....	82
4. Analisis termal.....	83
5. Spektroskopi resonansi magnetik nuklir (NMR).....	83
Stabilitas Biochar.....	84
Bahan Bacaan.....	86
V. PENGARUH BIOCHAR.....	87
Biochar sebagai Amandemen Tanah.....	87
1. Pengaruh biochar terhadap sifat fisika tanah.....	87
a. Bulk densiti.....	88
b. Partikel densiti.....	89
c. Porositas tanah.....	90
d. Stabilitas Agregat.....	91
e. Air Tanah.....	92
f. Resistensi penetrasi.....	92
g. Kekuatan tekanan.....	93
h. Kekuatan Geser.....	94
i. Konsistensi Tanah (Batas Atterberg).....	95
j. Koefisien Extensibility Linear dan Keretakan.....	95
2. Pengaruh Biochar terhadap Sifat Kimia Tanah.....	96

a. Pengaruh Biochar terhadap Kadar Bahan Organik Tanah	96
b. Pengaruh Biochar terhadap Kapasitas Tukar Kation (KTK)	98
c. Pengaruh Biochar terhadap Kemasaman Tanah.....	100
3. Pengaruh Biochar Terhadap Hara Tanaman.....	102
a. Retensi Hara.....	103
b. Unsur Hara Nitrogen (N).....	104
c. Unsur Hara Fosfat (P).....	109
d. Unsur Kalium.....	112
e. Unsur Sekunder.....	113
f. Unsur Mikro.....	114
4. Pengaruh biochar terhadap sifat biologi tanah.....	115
Biochar untuk Remediasi Zat Beracun dan Berbahaya.....	121
1. Kontaminan Anorganik.....	121
2. Kontaminan Organik.....	125
Peran Biochar dalam Emisi Gas Rumah Kaca.....	127
1. Emisi CO ₂	127
2. Emisi metana tanah.....	129
3. Emisi N ₂ O tanah.....	130
Bahan Bacaan.....	134
VI. EFEK BURUK BIOCHAR.....	135
Biochar sebagai Amandemen Tanah.....	135
1. Kontaminan dalam biochar.....	135
2. Permasalahan Aplikasi Biochar.....	145
Bahan Bacaan.....	147



Daftar Tabel

Tabel 3.1. Kadar sellulosa, hemiselulosa, dan lignin dari beberapa biomassa	23
Tabel 4.1. Sifat biochar dari beberapa bahan baku dan suhu pirolisis.....	54
Tabel 6.1. Pedoman Kadar Logam berat di Biochar.....	143



Daftar Gambar

Gambar 1.1. Struktur biochar dengan beberapa group fungsional...	4
Gambar 2.1. Profil tanah Terra Preta dan tanah biasa.....	11
Gambar 3.1. Struktur molekul Sellulosa.....	20
Gambar 3.2. Struktur Molekul Hemmisellulose.....	21
Gambar 3.3. Beberapa struktur Molekul Lignin.....	23
Gambar 3.6. Proses Pirolisis.....	27
Gambar 3.7. Pirolisis selulosa: mekanisme pembentukan biochar.	33
Gambar 3.8. Pirolisis hemiselulosa: mekanisme pembentukan biochar.....	34
Gambar 3.9. Pirolisis Lignin: Mekanisme pembentukan biokar.....	35
Gambar 3.10. Mekanisme gasifikasi biomassa.....	36
Gambar 3.11. Prosedur Karbonisasi hidrotermal.....	37
Gambar 3.12. Proses Tahapan Torrifaksi.....	38
Gambar 3.13. Skema Produksi Biochar dari Torrifaksi.....	39
Gambar 3.14. Perkembangan struktur biochar pada perlakuan suhu tinggi.....	40
Gambar 3.4. Skema Pembuatan Biochar Tradisional.....	42
Gambar 3.5. Diagram Pit Kiln.....	43
Gambar 3.15. Produksi Biochar di Laboratorium dengan menggunakan Muffle Furnace.....	44
Gambar 3.16. Model I Kiln Produksi Biochar : bagian penyusun (i-v) (a) dan model lengkap (b).....	45
Gambar 3.17. Produksi Biochar Model II Klin dengan modifikasi Model I : gambaran skematik (a) dan fotomikrograf (b). Modifikasi meliputi i) sirkulasi syngas eksternal melalui pipa bypass dan ii) pemanasan langsung bahan baku melalui lubang kecil terbuka tungku dalam	45
Gambar 3.18. Alat pirolisis metode kiln dengan sumber panas dari atas (kiri) dan sumber panas dari bawah (kanan).....	46

Gambar 3.19. Kiln produksi biochar Model III dengan ukuran yang diperluas (a) dan lubang pembakaran (b). Dimensi kedua kiln adalah 152,4 cm × 114,3 cm (tinggi × diameter), tiga kali lebih besar dari dari kiln Model III. Pipa sirkulasi udara eksternal adalah dipasang di pit kiln, memungkinkan aliran udara terus menerus ke ruang bakar untuk pembakaran kayu bakar secara sempurna.....	46
Gambar 4.1. Permukaan mikroskopik dari biochar jerami padi dan jerami padi.....	60
Gambar 4.2. Porositas makro biochar dibawah skaning mikroskop elektron: A) biochar dari kayu yang dipirolisis lambat; dan B) biochar dari kotoran ayam yang dipirolisis lambat.....	60
Gambar 4.3. Jalur konversi nitrogen dari bahan baku-N menjadi biochar-N melalui proses pirolitik.....	77
Gambar 5.1. Mekanisme penghilangan logam berat oleh beberapa metode rekayasa biochar yang diaktifkan/modifikasi.....	123

I

PENDAHULUAN

Biochar berasal dari kata 'bio' dan 'char', 'bio' berarti hidup dan 'char' yang berasal dari kata 'charcoal' berarti arang. Istilah 'biochar' pertama kali digunakan untuk menggambarkan karbon aktif yang berasal dari sorgum (seperti dari karbon aktif turunan batu bara yang dihasilkan sebelumnya) untuk pengolahan limbah berbahaya. Selanjutnya, biochar dikaitkan dengan arang atau karbon aktif yang diperoleh sebagai produk ikutan, ketika residu tanaman digunakan untuk produksi bahan bakar hayati (bio-fuel).

Secara makna katanya, biochar dapat dikatakan arang yang diberikan ke tanah untuk makhluk hidup. Definisi biochar ini telah menjadi paling umum. Sangat penting untuk membedakan antara terminologi seperti arang dan biochar. Ada juga dicoba untuk dibahas Indonesiakan dengan sebutan 'biorang' sebagai gabungan bio dan arang. Kemudian diterjemahkan langsung biochar menjadi 'arang hayati'. Mana istilah yang dipakai belum ada kesepakatan, namun istilah biochar lebih populer dipakai. Meski biochar mirip dengan arang, sangat penting untuk membedakan antara terminologi arang dan biochar. Kedua bahan umumnya dibedakan karena arang digunakan sebagai bahan bakar padat selama proses pembakaran untuk menghasilkan energi. Sedangkan biochar biasanya digunakan untuk memperbaiki kondisi lingkungan dan penyerapan karbon dan kondisioner tanah, atau untuk aplikasi lain selain sebagai bahan bakar.

Ada beberapa definisi biochar yang telah diajukan oleh para ahli. International Biochar Initiative (IBI), mendefinisikan "Biochar adalah bahan padat yang diperoleh dari konversi termokimia biomassa dalam suatu lingkungan oksigen terbatas." (IBI, 2012). Lehman dan Joseph (2009) mengatakan bahwa biochar adalah produk kaya karbon yang diperoleh jika biomassa, seperti kayu, pupuk kandang, atau dedaunan, yang dipanaskan pada tempat tertutup dengan sedikit atau tanpa udara.

Dalam istilah keteknikan, biochar dihasilkan dari dekomposisi termal bahan organik pada kondisi oksigen terbatas dan temperatur relatif rendah, < 700°C.

Sohi, *et al* (2009) mendefinisikan biochar sebagai residu padat yang kaya karbon, dihasilkan oleh dekomposisi termal biomassa dari tanaman, pada keadaan sedikit atau tanpa oksigen. Biochar merupakan biomassa yang telah dipirolisis pada kondisi lingkungan rendah atau tanpa oksigen yang diaplikasikan ke tanah pada tempat tertentu yang diharapkan untuk penyimpanan karbon secara berkelanjutan dan merangkap memperbaiki fungsi tanah pada manajemen saat ini dan masa depan sambil menghindari efek yang merugikan bagi lingkungan yang lebih luas dalam jangka pendek dan jangka panjang dan juga bagi kesehatan manusia dan hewan.

Definisi biochar yang lain menyatakan bahwa biochar adalah residu padat dari pembakaran tidak sempurna dari biomassa yang berasal dari tumbuhan (Keiluweit *et al.*, 2010). Beesly *et al*, 2011 mendefinisikan biochar merupakan residu biologis yang dibakar dalam kondisi rendah oksigen, mengakibatkan berpori, kerapatan rendah, bahan kaya karbon. Shackley *et al.* 2012 menyatakan biochar adalah karbon padat berpori yang diproduksi melalui konversi termokimia dari bahan organik pada atmosfer yang kekurangan oksigen, memiliki sifat fisikokimia yang sesuai untuk penyerapan karbon di lingkungan yang aman dalam jangka panjang.

Biochar merupakan biomassa yang dijadikan dalam bentuk stabil, yang dapat disimpan tanah dalam skala yang sangat besar. Biochar merupakan bahan yang murah dan ramah lingkungan. Biochar berfungsi sebagai (a) adsorben polutan, remediasi tanah; (b) meningkatkan kualitas tanah dengan mempengaruhi: pH, kapasitas menahan air (WHC), kapasitas tukar kation (KTK), meningkatkan stabilitas agregat tanah, struktur komunitas mikroba, dan sifat tanah lainnya yang penting dalam pertanian; (c) mengimobilisasi karbon dalam tanah untuk waktu yang lama, yang berkontribusi terhadap penurunan konsentrasi karbon dioksida (CO₂) di atmosfer, pengurangan gas rumah kaca; (d) berfungsi sebagai pendukung katalis; dan (e) produksi energi.

Meskipun unsur utama dari biochar adalah karbon (C), tetapi juga mengandung hidrogen (H), oksigen (O), abu, dan sedikit nitrogen (N) dan

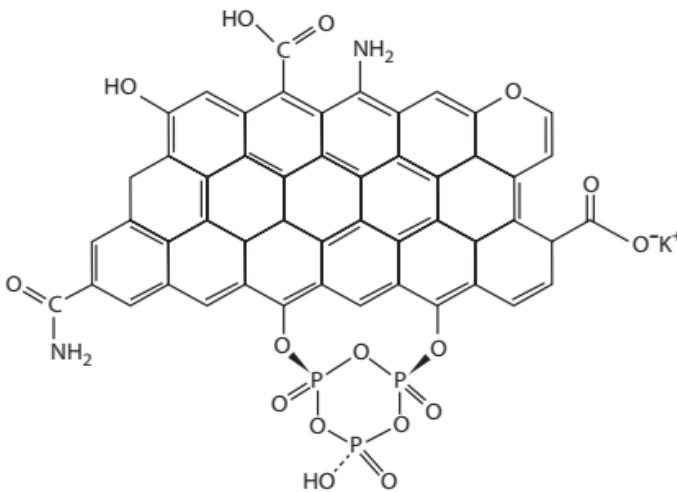
sulfur (S). Unsur komposisi biochar bervariasi sesuai dengan bahan biomassa baku dari mana biochar diproduksi dan karakteristik proses karbonisasi. Amandemen biochar mengubah sifat biologis dan fisikokimia tanah, yang mempengaruhi proses tanah seperti degradasi bahan organik, siklus nutrisi, dan kapasitas menahan air. Namun, mekanisme yang terlibat dalam tanah setelah amandemen biochar tidak selalu baik dimengerti. Selain peningkatan kesehatan tanah dan hasil panen, hal itu terbukti menyatakan bahwa biochar dapat berkontribusi untuk mengurangi perubahan iklim dengan melakukan sequestrasi karbon (C) dalam tanah selama ribuan tahun, dan dengan mengurangi oksida nitrat tanah (N_2O). Apalagi karena porositas dan luas permukaannya yang tinggi, biochar dapat digunakan sebagai alat remediasi untuk tanah pertanian yang tercemar, mengurangi ketersediaan logam berat dan senyawa organik seperti pestisida. Terakhir, produksi biochar dari sisa biomassa dapat menjadi solusi bagi petani untuk mengelolanya limbah mereka. Permukaan spesifik yang besar, struktur berpori, permukaan kelompok fungsional, dan kandungan mineral yang tinggi, biochar telah digunakan sebagai adsorben untuk polutan air dan udara, katalis untuk menghapus tar atau menghasilkan biodiesel, dan sebagai amandemen tanah. Baru-baru ini, aplikasi biochar untuk sel bahan bakar dan superkapasitor.

Biochar secara teoritis dapat dibuat dari beragam sumber bahan atau bahan baku dengan kandungan karbon tinggi menggunakan berbagai teknologi konversi termokimia (pirolisis). Sejumlah bahan baku telah digunakan untuk tujuan komersial dan penelitian. Yang terkenal di antara mereka adalah cincangan kayu dan pelet, kulit pohon, sisa tanaman (jerami, kulit kacang dan sekam padi), potongan rumput, limbah organik seperti lumpur kertas, ampas tebu, biji-bijian penyuling, limbah zaitun, kotoran ayam, kotoran sapi perah, dan lumpur limbah, pada akhir-akhir ini kotoran manusiapun sudah dipirolisis.

Karbon dalam biochar memiliki struktur yang berbeda dengan bahan organik yang ada di tanah. Karbon biochar terutama terdiri dari cincin aromatik yang lebih stabil dan tahan lama. Jika karbon dapat diambil dari atmosfer oleh tanaman dan diubah menjadi biochar, dan dijadikan amandemen tanah yang stabil, maka ada potensi yang sangat

besar untuk penyerapan karbon di tanah sembari juga berguna bagi produktifitas tanah.

Komposisi kimia biochar tergantung pada jenis bahan baku dan kondisi pirolisis (misalnya, waktu tinggal, suhu, laju pemanasan, dan jenis reaktor); dengan demikian, tidak semua biochar sama dan sulit untuk menentukan komposisi kimia biochar yang tepat. Biochars terutama tersusun oleh karbon. Bagian organik biochar memiliki kandungan karbon yang tinggi, dan bagian anorganiknya terutama mengandung mineral seperti Ca, Mg, K, dan karbonat anorganik (ion karbonat), tergantung pada jenis bahan bakunya. Suhu pirolisis yang digunakan untuk produksi biochar tidak membentuk grafit dan cincin aromatik dalam biochar tidak tersusun secara sempurna, tidak bertumpuk dalam lembaran selaras, seperti pada grafit. Pengaturan karbon yang tidak teratur terbentuk selama produksi biochar, dan mengandung O dan H. Dalam beberapa kasus, formasi mineral tergantung pada jenis bahan baku. Umumnya, biochar tidak sepenuhnya dikarbonisasi, sebagian karbon dan sebagian lagi sebagai fase non karbon.



Gambar 1.1. Struktur biochar dengan beberapa group fungsional

Oleh karena karakteristik dan manfaatnya, biochar bertambah banyak diperhatikan dalam hal manajemen masalah lingkungan, termasuk

remediasi tanah, pengurangan emisi gas rumah kaca, efisiensi adsorben, produksi energi, pengomposan, katalis, dan penjernihan air limbah, dll.

Biochar semakin diakui sebagai alat yang berharga untuk amandemen tanah jangka panjang (misalnya, karbon sekuestrasi, retensi hara, dan remediasi tanah yang terkontaminasi pestisida), tetapi jangka panjangnya stabilitas lingkungan masih harus dievaluasi. Seperti telah disebutkan, stabilitas biochar sangat bergantung pada suhu pirolisis dan bahan baku. Beberapa jenis biochar relatif dapat terdegradasi cepat di beberapa tanah, mungkin tergantung pada kondisi di mana mereka diproduksi, yang menyarankan bahwa pirolisis dapat dioptimalkan untuk menghasilkan biochar yang lebih stabil. Umumnya, stabilitas biochar dapat ditingkatkan dengan meningkatkan suhu pirolisis. Misalnya, stabilitas biochar bagasse tebu meningkat secara signifikan dengan meningkatkan suhu pirolisis dari 350 hingga 550°C. Selain itu, stabilitas biochar yang dihasilkan dari kotoran ayam lebih rendah dari pada dari tebu. Bahkan, stabilitas biochar tergantung pada jumlah substrat karbon bandel. Secara keseluruhan, biochar yang dibuat pada suhu rendah dapat dengan mudah terdegradasi tetapi biochar diproduksi pada suhu tinggi yang tahan terhadap degradasi.

Keuntungan dari produksi biochar dan penerapannya sebagai amandemen tanah dalam hal peningkatan kualitas tanah dan lingkungan telah mendorong keberlanjutan industri biochar di seluruh dunia. Namun, tercatat bahwa industri biochar masih dalam masa pertumbuhan, dan bahwa perusahaan kecil dan tersebar memiliki keterbatasan kapasitas produksi, yang paling banyak dapat memenuhi kebutuhan petani. Hal ini terkendala oleh kurangnya kesadaran konsumen, kendala teknologi, dan akses ke pembiayaan, mungkin dibutuhkan waktu untuk produksi biochar untuk bersiap-siap menjadi industri skala besar. Di bidang produksi, Brasil adalah produsen biochar terbesar di dunia, memproduksi 9,9 juta ton biochar per tahun, sedangkan India, dengan tingkat produksi tahunan 1,7 juta ton, menempati posisi keempat.

Bahan Bacaan

- Brassard, P.,S. Godbout, V. Levesque, J. H. Palacios, V. Raghavan, A. Ahmed, R. Hogue, T. Jeanne, M.Verma. 2019. Biochar for soil amendment. *in* Char and Carbon Materials Derived from Biomass. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814893-8.00004-3>
- Gleser, B. 2015. Soil Biogeochemistry. ***From Molecular to Ecosystem Level Using Terra Preta and Biochar as Examples.*** *in* Noureddine B. (ed) *Agroecology, Ecosystems, and Sustainability*. CRC Press
- Godlewska.P., Yong S. O. and P. Oleszczuk. 2021. The Dark Side Of Black Gold: Ecotoxicological aspects of biochar and biochar-amended soils. A Review. *Journal of Hazardous Materials* 403. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123833>
- Cha, J. S., Sung. H. P, Sang C. J., Changkook Rd, Jong-K. J, Min C. S , Young.K. P. 2016. Production and utilization of biochar: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* 40 : 1 – 15 . <http://dx.doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>
- Biswas, H., M. Prabhavathi, S.L. Patil, S. Kumar, and A.S. Morade. 2019. Application of Biochar as Soil Amendment. Theory and Practice *in* A. Rakshit, B. Sarkar, P. C. Abhilash (eds) *Soil Amendments for Sustainability. Challenges and Perspectives*. CRC Press.
- Lehmann, J. and S. Joseph, 2009. Biochar for Environmental Management: An Introduction *in* Lehmann, J. and S. Joseph (eds). *Biochar for environmental management : science and technology*. Earthscan
- Lee, J., A. K. Sarmah and E. E. Kwon. 2019. Production and Formation of Biochar *in* Yong S. O., D.L C.W. Tsang, N. Bolan And J.M. Novak (Eds) *Biochar From Biomass And Waste. Fundamentals and Applications*. Elsevier Inc.
- Maguire, R. O. and F. A. Agblevor. 2010. *Biochar in Agricultural Systems*. Virginia Polytechnic Institute and State University.
- Rajapaksha, A. U., D. Mohan, A. D. Igalavithana, S. S. Lee, and Yong S.O . 2016. Definitions and Fundamentals of Biochar *in* Yong. S. O., S. M. Uchimiya, S. X. Chang • N. Bolan (eds).. *Biochar Production, Characterization, and Applications* . CRC Press.

- Sohi, S. P., E. Krull, E. Lopez-Capel, and R. Bol. 2010. A Review of Biochar and Its Use and Function in Soil. *Advances in Agronomy*, Volume 105. Elsevier Inc. DOI: 10.1016/S0065-2113(10)05002-9
- Yang Ding, Yunguo Liu, Shaobo Liu, Xixian Huang, Zhongwu Li, Xiaofei Tan, Guangming Zeng, Lu Zhou, 2017. Potential Benefits from Biochar Application for Agricultural Use: A Review, *Pedosphere* (2017), 10.1016/S1002-0160(17)60375-8.
- Zhang, Z., Z. Zhu, B. Shen, L. Liu, 2019. Insights into Biochar and Hydrochar Production and Applications: A Review, *Energy* : 17 (581-598), doi:10.1016/j.energy.2019.01.035.