



REPUBLIK INDONESIA
KEMENTERIAN HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202139148, 16 Agustus 2021

Pencipta

Nama : **Susila Herlambang, Danang Yudhiantoro dkk**
Alamat : Perum Griya Mulia Asri, Banguntapan, Bantul, DI YOGYAKARTA, 55165
Kewarganegaraan : Indonesia

Pemegang Hak Cipta

Nama : **LPPM UPN "Veteran" Yogyakarta**
Alamat : Jl. Padjajaran No.104, Condongcatur, Kec. Depok, Sleman, Yogyakarta 55283, Kabupaten Sleman, DI YOGYAKARTA, 55283
Kewarganegaraan : Indonesia
Jenis Ciptaan : **Buku**
Judul Ciptaan : **Biochar Amandemen Tanah Dan Mitigasi Lingkungan**
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali : 16 Agustus 2021, di Sleman
di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia
Jangka waktu perlindungan : Berlaku selama 50 (lima puluh) tahun sejak Ciptaan tersebut pertama kali dilakukan Pengumuman.
Nomor pencatatan : 000265476

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n. MENTERI HUKUM DAN HAK ASASI MANUSIA
DIREKTUR JENDERAL KEKAYAAN INTELEKTUAL

Dr. Freddy Harris, S.H., LL.M., ACCS.
NIP. 196611181994031001

Disclaimer:

Dalam hal pemohon memberikan keterangan tidak sesuai dengan surat pernyataan, menteri berwenang untuk mencabut surat pencatatan permohonan.

LAMPIRAN PENCIPTA

No	Nama	Alamat
1	Susila Herlambang	Perum Griya Mulia Asri, Banguntapan
2	Danang Yudhiantoro	Jl. Ringroad Utara No 47, Depok
3	M. Gomareuzzaman	Kayunan, Ngaglik
4	Indriana Lestari	Kaliwanglu Wetan, Pakem





BUKU AJAR

BIOCHAR

AMANDEMEN TANAH
DAN MITIGASI LINGKUNGAN

Dr. Ir. Susila Herlambang, M.Si.
Danang Yudhiantoro, SE, M.Si CDMP.
Muammar Gomareuzzaman, S.Si., M.Sc
Indriana Lestari, S.T., M.T.



BUKU AJAR

BIOCHAR

AMANDEMEN TANAH DAN MITIGASI LINGKUNGAN

Penulis:

Dr. Ir. Susila Herlambang, M.Si.

Danang Yudhiantoro, S.E., M.Si

Muammar Gomareuzzaman, S.Si., M.Sc

Indriana Lestari, S.T., M.T.

Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat

Universitas Pembangunan Nasional “Veteran”

Yogyakarta

BIOCHAR:
AMANDEMEN TANAH DAN MITIGASI LINGKUNGAN

Penulis: Dr. Ir. Susila Herlambang, M.Si.
Danang Yudhiantoro, S.E., M.Si
Muammar Gomareuzzaman, S.Si., M.Sc.
Indriana Lestari, S.T., M.T.

Copyright © 2021, pada penulis

Hak Cipta dilindungi Undang-undang
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotocopy, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

ISBN 978-623-5539-27-0



Diterbitkan oleh:
Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
UPN Veteran Yogyakarta
Jl. Pajajaran (Lingkar Utara), Condongcatur , Yogyakarta, 55283
Telp. (0274) 486188,486733, Fax. (0274) 486400
e-mail: lppm@upnyk.ac.id.

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	iv
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
BAB I _PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	2
1.2. Tujuan.....	4
1.3. Sistematika Penulisan Buku	4
BAB II _TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Pengertian Biochar	6
2.2. Teknik Sintesis	7
2.2.1. Pirolisis.....	9
2.2.2. Karbonasi Hidrotermal	14
2.2.3. Gasifikasi.....	16
2.2.4. Torrefaksi dan Flash Karbonisasi	17
2.3. Bahan Baku Biochar.....	18
2.3.1. Klasifikasi Bahan Baku.....	20
2.3.2. Pemilihan Bahan Baku.....	22
2.4. Aplikasi Biochar.....	23
BAB III _KARAKTERISTIK BIOCHAR	27
3.1. Sifat Fisika Biochar	29

3.1.1.	Morfologi Biochar	29
3.1.2.	Distribusi Ukuran Partikel	31
3.1.3.	Daya Adsorpsi	32
3.1.4.	Kadar Abu	33
3.1.5.	Bulk Density	34
3.1.6.	Ukuran Pori	36
3.2.	Sifat Kimia Biochar	36
3.2.1.	pH	36
3.2.2.	Komposisi Unsur	37
3.2.3.	Luas Permukaan	38
3.2.4.	KPK	39
BAB IV PERAN BIOCHAR SEBAGAI AMANDEMEMEN TANAH DAN MENJAGA MITIGASI LINGKUNGAN.....		41
4.1.	Perbaikan dan Peningkatan Kualitas Tanah	42
4.1.1.	Perbaikan Kualitas Tanah	42
4.1.2.	Peningkatan Kualitas Tanah	44
4.2.	Peningkatan Produktivitas Tanaman Pertanian	46
4.3.	Mitigasi Lingkungan Akibat Kegiatan Pertanian	49
BAB V PROSPEK DAN TANTANGAN MASA DEPAN BIOCHAR.....		53
5.1.	Pospek Masa Depan	54
5.2.	Tantangan Massa depan	55
5.3.	Analisis Resiko Lingkungan.....	56

BAB VI PENUTUP.....	59
DAFTAR PUSTAKA.....	62
TENTANG PENULIS.....	71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Aplikasi Biochar Dan Produk Charcoal Dari Berbagai Sumber Bahan Baku Dan Teknik Sintesisnya	8
Gambar 2. Skema Pirolisis Biomassa Dengan Reaktor Fixed Bed	10
Gambar 3. Biochar Dari Kulit Padi (Sekam)	12
Gambar 4. Dekomposisi komponen biomassa pada berbagai suhu	14
Gambar 5. Proses Karbonasi Hidrotermal Dengan Menggunakan Reaktor Autoclave	15
Gambar 6. Klasifikasi Bahan Baku Biochar	22
Gambar 7. Pemilihan Bahan Baku Biomassa Berdasarkan Tujuan Penggunaan Biochar	23
Gambar 8. Aplikasi Biochar	26
Gambar 9. Sifat Fisika-Kimia Biochar	28
Gambar 10. Perbandingan Citra SEM Biomassa dan Biochar Serbuk Gergaji Kayu Karet.	31
Gambar 11. Perbedaan <i>Bulk</i> , <i>Envelope</i> dan <i>Skeletal Density</i>	34
Gambar 12. Desain Mekanisme Untuk Meningkatkan Kesuburan Tanah	45
Gambar 13. Model Konseptual Ilustrasi Pengaruh Biochar terhadap Aktivitas Mikroba Di Dalam Tanah	49
Gambar 14. Kontribusi Biochar Terhadap Sumber Karbon Stabil Dalam Tanah Dan Perannya Dalam Pengurangan Gas Rumah Kaca	52
Gambar 15. Model Potensi Remediasi Tanah dengan Sifat Biochar.. ..	54

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Teknik dan Kondisi Operasi Konversi Termokimia.....	9
Tabel 2. Yield Massa (% berat) Pirolisis Lambat Geodae-Uksae	29
.....	29
Tabel 3. Efek Biochar Terhadap Hasil Pertanian	47

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat- Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku BIOCHAR: AMANDEMEN TANAH DAN MITIGASI LINGKUNGAN.

Buku ini berisi informasi tentang teknologi dan informasi terkait perbaikan kondisi tanah dan lingkungan dengan menggunakan bahan tambahan organik yang tidak memperburuk kondisi lingkungan hidup. Dengan tujuan untuk meningkatkan produktivitas lingkungan dalam budidaya tanaman pangan.

Harapan penulis, buku ini dapat memberikan informasi dalam bidang lingkungan khususnya yang terkait dengan sektor pertanian dengan menggunakan produk Biochar. Ucapan terimakasih tidak lupa penulis sampaikan kepada banyak pihak yang telah terlibat dan membantu dalam penyusunan dan penyelesaian buku ini. Kepada LPPM juga kami mengucapkan terimakasih karena telah memberikan dana Hibah Penelitian Kluster, sehingga kegiatan penelitian serta penyusunan buku ini dapat terlaksana.

Demikian buku ajar ini disusun dan penulis menyadari masih banyak kekurangan yang ada pada buku ini, saran dan masukan yang membangun dari pembaca adalah upaya penulis dalam perbaikan dan penyempurnaan buku ini kedepannya.

Yogyakarta, Juli 2021
Salam Hormat,

Penulis



BAB 1

PENDAHULUAN

BAB I. PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan alasan mengapa buku ini ditulis, tujuan dari penulisan buku, dan sistematika penulisan buku yang sesuai dengan kaidah penulisan buku ajar.

1.1. Latar Belakang

Peningkatan populasi menimbulkan banyak perhatian terhadap ketahanan pangan secara global dan regional, terutama di negara-negara berkembang. Degradasi tanah, termasuk diantaranya erosi tanah, keasaman, ketidaksuburan, kontaminasi zat anorganik/organik, hilangnya karbon tanah organik, dan salinisasi membahayakan ketahanan pangan dan menyebabkan kesulitan ekonomi. Di lain sisi, penurunan ketersediaan lahan subur dan produktivitas pertanian akibat perubahan iklim mengancam jutaan orang melalui kemiskinan dan kekurangan gizi. Saat ini sebagian besar lahan yang tersedia merupakan lahan marjinal dengan tingkat kesuburan yang rendah. Akan tetapi, kondisi pertambahan populasi penduduk yang cenderung naik menuntut ketersediaan pangan dalam jumlah yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan teknologi yang hemat biaya untuk menciptakan kegiatan budidaya tanaman pangan yang mengubah keterbatasan menjadi sumber daya yang dapat dimanfaatkan guna mempertahankan dan meningkatkan ketersediaan pangan, mengurangi erosi tanah, mengurangi perubahan iklim, dan menjaga kualitas tanah.

Pemanfaatan sumber bahan organik secara in situ merupakan upaya tepat dalam peningkatan dan pemulihan kualitas tanah yang relatif murah, seperti pengembalian sisa tanaman, penggunaan berbagai pembenah tanah organik berupa pupuk kandang, kompos, dan biomassa tanaman. Namun dosis yang digunakan masih tergolong cukup tinggi yaitu sekitar 7,5 ton per hektar pupuk kandang kotoran sapi pada tanah gambut (Herwadi, 1990) dan 10 per hektar

jerami pada lahan ultison (Cahyani, 1996), sehingga dibutuhkan jumlah yang cukup besar dan seringkali sulit dalam pengadaannya. Lebih jauh, menurut Liu dan Wu (2004), dan Wihardjaka et al. (2011) penggunaan limbah ternak dan penambahan bahan organik sisa tanaman beresiko meningkatkan jumlah gas rumah kaca (GRK) berupa emisi gas metana (CH_4) dan gas karbon dioksida (CO_2) ke udara, karena masih memiliki nisbah C/N tinggi. Tentunya pengalihan dari bahan organik yang berkualitas rendah ke bahan organik yang berkualitas baik perlu dilakukan agar dapat meningkatkan kesuburan tanah tanpa meningkatkan emisi gas rumah kaca.

Bahan organik kualitas tinggi yang terbukti dapat mengatasi permasalahan tersebut adalah biochar. Biochar atau charcoal, atau disebut agri-char merupakan substansi arang kayu yang berpori, hasil sisa pembakaran tidak sempurna yang mengandung karbon tinggi. Bahan baku biochar didapatkan dari kayu, tempurung kelapa, sekam padi, atau bahan-bahan lain yang memiliki serat kayu. Sebagai pembenah tanah atau amandemen tanah, biochar dapat digunakan untuk mengikat air dan unsur hara, meningkatkan pH tanah, serta meningkatkan aktivitas biota di dalam tanah. Dalam upaya mitigasi lingkungan, biochar mampu mengurangi resiko perubahan iklim, karena biochar dapat meningkatkan serapan CH_4 dan mengurangi mineralisasi bahan organik menjadi CO_2 , karena biochar tidak mengalami pelapukan lebih lanjut, sehingga cenderung stabil hingga puluhan tahun.

Oleh karena itu perlu disusun suatu buku yang berisi pengetahuan yang menyeluruh mengenai biochar termasuk di dalamnya definisi, sejarah, fungsi dan kegunaan, teknik sintesis, bahan baku, sifat kimia dan fisika, tinjauan khusus penggunaan biochar dalam bidang pertanian, khususnya sebagai ameliorant dan zat yang mendukung mitigasi lingkungan, serta tantangan dan prospek masa depan biochar.

1.2. Tujuan

Buku ini disusun untuk memberikan pemahaman menyeluruh terkait biochar dalam upaya meningkatkan ketahanan pangan dengan cara memperbaiki tanah marginal dengan tetap menjaga mitigasi lingkungan.

1.3. Sistematika Penulisan Buku

Buku ini mencakup 5 bagian, bagian pertama berupa pendahuluan, berisi latar belakang, tujuan dan sistematika penulisan buku. Bagian kedua berisi pengertian biochar, teknik sintesis biochar, sumber bahan baku dan kegunaan atau manfaat biochar. Pada bagian ini juga berisi informasi sekilas tentang biochar sebagai amandemen tanah dan hubungan biochar dengan mitigasi lingkungan. Dilanjutkan informasi mengenai karakteristik fisika dan kimia di bagian ke ketiga buku ini, dilanjutkan pada bagian keempat berisi tentang peranan biochar pada bidang pertanian. Selanjutnya pada bab kelima, bab terakhir buku ini, akan disampaikan tantangan dan prospek masa depan dari biochar. Adapun sistematika penulisan dalam dalam buku ini adalah:

BAB I	Pendahuluan
BAB II	Biochar
BAB III	Karakteristik Biochar
BAB IV	Peran Biochar Pada Bidang Pertanian
BAB V	Prospek dan Tantangan Masa Depan Biochar



BAB 2

TINJAUAN PUSATAKA

BAB II. BIOCHAR

Bab ini memuat tentang pengertian biochar, teknis sintesis biochar, sumber bahan baku biochar, manfaat dan fungsi biochar, biochar sebagai amelioran dan biochar sebagai sumber daya amandemen tanah dan mitigasi lingkungan.

2.1. Pengertian Biochar

Biochar merupakan istilah ilmiah yang menjadi pusat perhatian di seluruh dunia karena sifat uniknya. Definisi biochar lebih mengarah pada proses pembuatan dan aplikasinya daripada komposisinya. Karena pada dasarnya biochar adalah arang yang terbuat dari biomassa yaitu berbahan dasar tanaman dan limbah pertanian, oleh sebab itu diberi nama biochar. Ada beberapa definisi biochar, namun menurut *International Biochar Initiative* (IBI), definisi standar biochar yang paling tepat adalah bahan padat yang diperoleh dari konversi termokimia biomassa dalam lingkungan oksigen terbatas (International Biochar Initiative, 2015). Sedangkan definisi lengkap dari biochar adalah produk padat yang tersisa setelah biomassa dipanaskan pada rentang suhu antara 300 °C dan 700 °C di bawah kondisi kurang oksigen, dan proses tersebut dikenal dengan istilah "pirolisis".

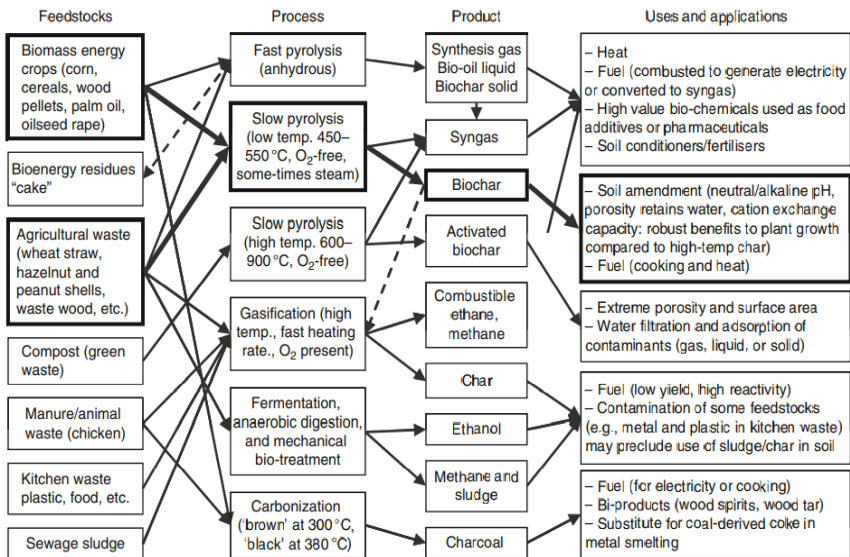
Biochar bukanlah suatu teknologi baru. Pembuatan biochar dipicu oleh fakta bahwa tanah-tanah Terra Preta di wilayah Amazon, Amerika Selatan, dikenal sangat subur karena mengandung arang yang dibentuk dari pembakaran dengan minim oksigen sejak ribuan tahun yang lalu. Terra Petra merupakan tanah berwarna gelap yang sangat subur, yang selama berabad-abad telah mendukung kebutuhan pertanian orang Amazon.

Sifat unik dari biochar seperti luas permukaan yang besar, porositas yang tinggi, gugus fungsi, kapasitas tukar kation yang tinggi, dan stabilitas yang baik membuat material ini cocok untuk berbagai aplikasi, seperti adsorben untuk polusi air dan udara, katalis untuk

menghilangkan tar pada produksi biodiesel, material *fuelcell*, superkapasitor, dan sebagai bahan organik pembenah tanah atau amelioran.

2.2. Teknik Sintesis

Baik charcoal maupun biochar diproduksi melalui proses konversi energi yang disebut pirolisis, yaitu suatu proses pemanasan biomassa dalam keadaan tidak ada oksigen sama sekali atau hampir tidak ada. Pirolisis biomassa ini menghasilkan arang, minyak dan gas. Jumlah bahan yang dihasilkan tergantung pada kondisi pemrosesan. Adapun yang membedakan biochar dari charcoal adalah pada segi pemanfaatannya yakni produk biochar dibuat untuk digunakan sebagai pembenah tanah dan pada teknik pirolisisnya. Biochar dapat diproduksi dari berbagai bahan baku biomassa, tetapi umumnya arang yang ditetapkan sebagai biochar hanya jika menghasilkan produk sampingan yang dapat digunakan untuk tanah (Schahczenski, 2010). Gambar 1 menunjukkan perbedaan biochar dan produk charcoal lainnya sekaligus aplikasinya sebagai suatu produk dari proses konversi termal berbagai macam sumber biomassa dan teknologi yang digunakan.



Gambar 1. Aplikasi Biochar Dan Produk Charcoal Dari Berbagai Sumber Bahan Baku Dan Teknik Sintesisnya (Sohi et al., 2010).

Konversi termokimia merupakan teknik yang umum digunakan untuk memproduksi biochar. Metode konversi termokimia meliputi pirolisis, karbonisasi hidrotermal, gasifikasi dan torrefacti. Untuk mendapatkan hasil biochar yang maksimal, pemilihan teknik produksi harus sesuai dengan jenis biomassa dan juga kondisi operasi proses seperti laju pemanasan, suhu, waktu tinggal harus dalam kondisi optimal. Kondisi operasi sangat penting karena dapat mempengaruhi sifat fisik dan kimia biochar selama proses produksi. Morfologi biochar yang berasal dari biomassa tanaman bervariasi berdasarkan kondisi proses karena melibatkan kehilangan berat biomassa. Pada kondisi awal, terjadi penurunan berat karena terjadi proses penghilangan air yang terjadi pada suhu sekitar 100 °C, dilanjutkan dengan degradasi selulosa, hemiselulosa dan lignin yang terjadi di atas suhu 220 °C, hingga akhirnya penurunan berat materi

terjadi karena pembakaran residu karbon. Berbagai teknik konversi termokimia dan kondisi proses produksi biochar disajikan pada Tabel 1.

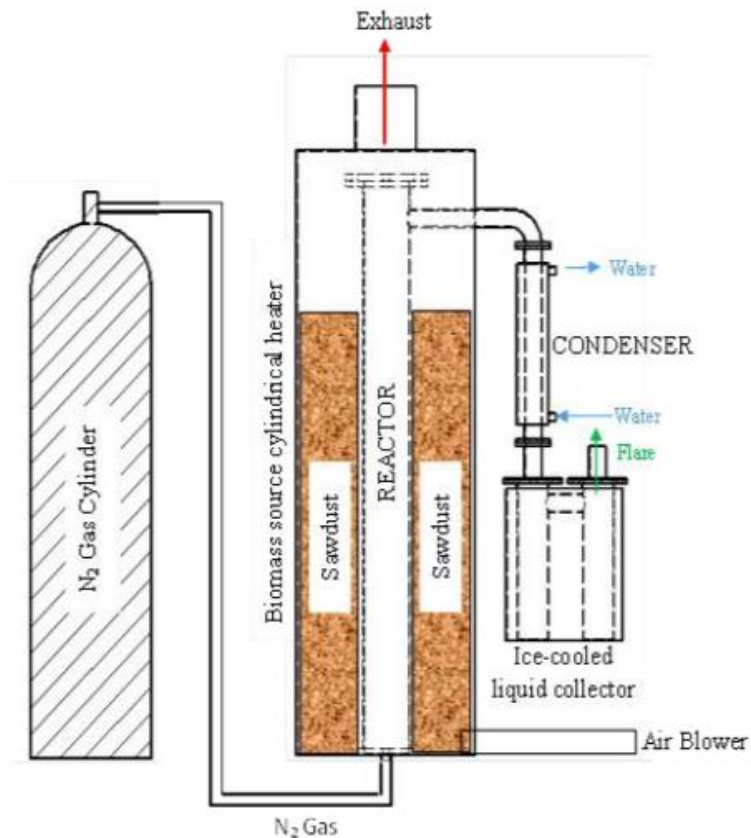
Tabel 1. Teknik dan Kondisi Operasi Konversi Termokimia

Teknik	Suhu (°C)	Waktu Tinggal	Yield Biochar (%)	Yield Bio-oil (%)	Produk Syngas	Referensi
Pirolisis (cepat)	500–1000	< 2 s	12	75	13	Cantrell et al. (2012)
Pirolisis (lambat)	300-700	Jam per hari	35	30	35	Cantrell et al. (2012)
Karbonisasi Hidrotermal	180-300	1-16 jam	50-80	5-20	2-5	Funke & Ziegler (2010)
Gasifikasi	750-900	10-20 s	10	5	85	Klinghoffer et al. (2015)
Torrefaksi	290	10-60 men	80	0	20	Bergman et al. (2005)
Flash Karbonisasi	300-600	< 30 men	37	-	-	Nunoura et al. (2006)

2.2.1. Pirolisis

Pirolisi adalah proses dekomposisi termal bahan organik dilingkungan bebas oksigen atau minim oksigen dengan kisaran suhu 250 - 900 °C. Proses ini merupakan strategi alternatif untuk mengubah limbah biomassa menjadi produk bernilai tambah seperti biochar, syngas dan bio-oil. Selama proses tersebut, komponen lignoselulosa seperti selulosa, hemiselulosa dan lignin mengalami serangkaian reaksi seperti depolimerisasi, fragmentasi dan ikatan silang pada suhu tertentu sehingga menghasilkan wujud produk yang berbeda-beda seperti padat, cair dan gas. Produk padat dan cair terdiri dari arang dan bio-oil, sedangkan produk gas adalah karbon dioksida, karbon monoksida dan hidrogen serta syngas (hidrokarbon C₁-C₂). Berbagai jenis reaktor seperti *paddle kiln*, *bubbling fluidized bed*, *reaktor wagon* dan *agitated sand rotating kiln* digunakan untuk produksi biochar. Hasil biochar dari proses pirolisis tergantung pada jenis dan sifat biomassa yang digunakan. Suhu operasi menjadi variabel utama

yang menentukan efisiensi produk (Wei et al., 2019). Secara umum rendemen biochar menurun dan produksi syngas meningkat ketika suhu dinaikkan selama proses pirolisis. Skema proses pirolisis ditunjukkan pada Gambar 2. Pirolisis dapat diklasifikasikan sebagai pirolisis cepat dan pirolisis lambat. Klasifikasi tersebut didasarkan pada laju pemanasan, suhu, waktu tinggal dan tekanan.



Gambar 2. Skema Pirolisis Biomassa Dengan Reaktor *Fixed Bed* (Islam et al., 2017)

Pirolisis Cepat (*Fast Pyrolysis*). Pada pirolisis cepat biomassa padat terurai secara cepat menjadi sebagian besar bio-oil cair yang memiliki nilai kalor sekitar setengah dari bahan bakar minyak konvensional, dan sedikit arang. Oleh karena itu metode ini baik diaplikasikan pada bidang energi. Prinsip utama pada proses pirolisis cepat adalah sebagai berikut: kecepatan pemanasan partikel biomassa dijaga cepat (>100 °C/menit), waktu tinggal partikel biomassa dan asap pirolisis pada suhu tinggi sekitar 0,5–2 detik dan suhu pirolisis sekitar 500 - 1000 °C. Komponen kunci pada pirolisis cepat untuk mendapatkan kualitas bio-oil yang baik adalah dengan menjaga waktu tinggal asap secepat mungkin dalam reaktor dengan cara pendinginan atau pengembunan (Y. Wang et al., 2014).

Pirolisis Lambat (*Slow Pyrolysis*). Dalam pirolisis lambat, laju pemanasan sangat lambat sekitar 5-9 °C/menit dan memiliki waktu tinggal lebih lama yaitu lebih dari 1 jam (W. J. Liu et al., 2015), serta suhu pirolisis dijaga sekitar 300 °C untuk mendapatkan *yield* arang dalam jumlah yang banyak. Semakin tinggi suhu pirolisis maka jumlah arang yang dihasilkan akan semakin kecil, hal ini dikarenakan semakin banyak materi pada biomassa yang terdekomposisi menjadi uap terkondensasi dan gas. Pirolisis lambat memiliki hasil arang yang lebih baik dibandingkan dengan pirolisis cepat dan teknik karbonisasi. Produk pirolisis lambat inilah yang disebut biochar, yang dimanfaatkan sebagai amelioran untuk memperbaiki kualitas tanah. Gambar 3 menunjukkan produk pirolisis lambat dari bahan baku kulit padi.



Gambar 3. Biochar Dari Kulit Padi (Sekam)(Islam et al., 2017)

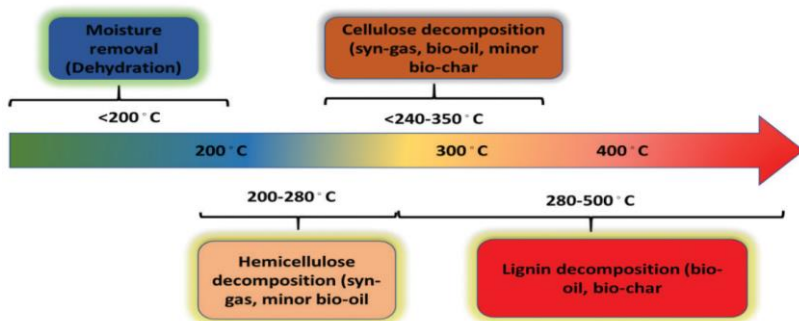
Tahapan proses perubahan senyawa organik pada biomassa selama proses pirolisis atau disebut dekomposisi biomassa adalah sebagai berikut:

- 1. Dekomposisi Selulosa.** Mekanisme dekomposisi selulosa diidentifikasi oleh pengurangan derajat polimerisasi. Pada pirolisis lambat, dekomposisi selulosa terjadi pada waktu tinggal lebih lama dan laju pemanasan lebih sedikit, sedangkan pada pirolisis cepat, terjadi pada laju pemanasan tinggi melalui penguapan cepat yang menghasilkan levoglukosan. Selain produk padat berupa biochar, levoglukosan juga mengalami proses dehidrasi menghasilkan hidroksimetil furfural yang dapat terurai menjadi produk cair dan gas seperti bio-oil dan syngas. Selain itu, hidroksimetil furfural juga dapat melalui beberapa reaksi seperti

aromatisasi, kondensasi dan polimerisasi untuk menghasilkan biochar padat kembali. Dekomposisi selulosa terjadi sekitar suhu kurang dari 240 – 380 °C (Yaashikaa et al., 2020).

2. **Dekomposisi Hemiselulosa.** Hemiselulosa mengalami depolimerisasi membentuk oligosakarida, melalui serangkaian reaksi termasuk dekarboksilasi, penataan ulang intramolekul, depolimerisasi dan aromatisasi untuk menghasilkan biochar ataupun senyawa dekomposisi lainnya, seperti syngas dan bio-oil. Hemiselulosa mulai terdekomposisi pada suhu sekitar 200 - 290 °C tumpeng tindih dengan dekomposisi selulosa (Huang et al., 2012).
3. **Dekomposisi Lignoselulosa.** Berbeda dengan mekanisme dekomposisi selulosa dan hemiselulosa, mekanisme dekomposisi lignin sangat kompleks. Mula-mula ikatan lignin β -O-4 putus sehingga menghasilkan radikal bebas. Radikal bebas ini menangkap proton dari spesies lain yang menghasilkan pembentukan senyawa terdekomposisi. Radikal bebas berpindah ke molekul lain dan melakukan propagasi berantai. Dekomposisi lignin terjadi pada rentang suhu 280 – 500 °C.

Dekomposisi komponen biomassa pada berbagai suhu pirolisis dijelaskan menurut Gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Dekomposisi komponen biomassa pada berbagai suhu (Zaman et al., 2017)

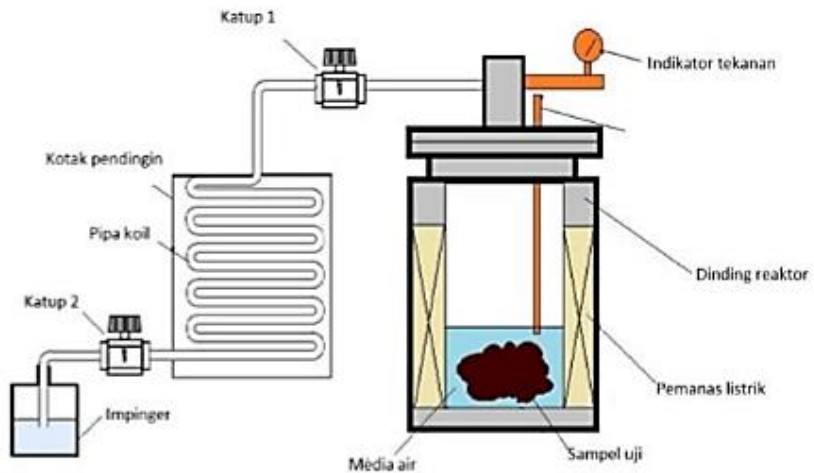
2.2.2. Karbonasi Hidrotermal

Karbonisasi hidrotermal atau HTC dianggap sebagai metode yang hemat biaya untuk memproduksi biochar karena prosesnya dapat dilakukan pada suhu rendah sekitar 150 - 350 °C. Pada metode ini proses konversi termokimia menggunakan air sebagai media pelarut sekaligus katalis dan tekanan autogenus. Produk arang yang menggunakan proses hidrotermal disebut sebagai arang-hidro (*hydro-char*), hal ini dimaksudkan untuk membedakan produk arang yang dihasilkan dari proses kering seperti pirolisis dan gasifikasi. Selama proses, biomassa dicampur dengan air dan ditempatkan dalam reaktor tertutup. Temperatur dinaikkan secara perlahan untuk menjaga stabilitas operasi. Pada tingkat suhu yang berbeda, produk yang dihasilkan adalah biochar pada suhu di bawah 250 °C disebut sebagai karbonisasi hidrotermal, bio-minyak antara 250 - 400 °C disebut hidrotermal likuifaksi dan produk gas syngas seperti CO, CO₂, H₂ dan CH₄ yang dihasilkan pada suhu di atas 400 °C disebut sebagai hidrotermal gasifikasi (Safaei Khorram et al., 2016).

Produk hasil hidrolisis melalui serangkaian reaksi seperti dehidrasi, fragmentasi dan isomerisasi untuk membentuk produk an-

tara berupa 5-hidroksimetilfurfural dan turunannya. Selanjutnya, terjadi reaksi kondensasi, polimerisasi dan dehidrasi intramolekul untuk menghasilkan arang hidro. Senyawa yang memiliki berat molekul yang besar dan senyawa kompleks lignin membuat mekanismenya menjadi semakin rumit. Dekomposisi lignin dimulai melalui reaksi dealkilasi dan hidrolisis menghasilkan produk fenolik seperti fenol, katekol, siringol, dll (Jain et al., 2016). Hingga akhirnya, arang diproduksi melalui repolimerisasi dan pengikatan silang zat antara. Komponen lignin yang tidak larut dalam fase cair diubah menjadi arang-hidro yang mirip dengan reaksi pirolisis. Arang yang dihasilkan umumnya diaplikasikan untuk alternatif bahan bakar (Yaashikaa et al., 2020). Salah satu jenis reaktor karbonisasi hidrotermal divisualisasikan pada Gambar 5.

6



Gambar 5. Proses Karbonasi Hidrotermal Dengan Menggunakan Reaktor Autoclave (Irsyad et al., 2014)

2.2.3. Gasifikasi

Gasifikasi adalah metode dekomposisi termokimia bahan karbon menjadi produk gas yaitu, syngas yang terdiri dari CO, CO₂, CH₄, H₂ dan hidrokarbon dengan adanya agen gasifikasi seperti oksigen, udara, uap, dll pada suhu tinggi. Laju pemanasannya berkisar antara 10³ – 10⁴ °C/s. Suhu reaksi adalah faktor yang paling signifikan dalam menentukan produksi syngas, peningkatan suhu akan meningkatkan jumlah karbon monoksida dan produksi hidrogen, sementara kandungan lain seperti metana, karbon dioksida dan hidrokarbon menurun. Produk utama dari proses ini adalah syngas (CO, H₂, CO₂, CH₄), sedangkan arang menjadi produk samping dengan hasil yang lebih sedikit. Mekanisme gasifikasi dibagi menjadi beberapa langkah yang saling tumpang tindih, yaitu:

- *Pengeringan*. Pengeringan bertujuan untuk menguapkan air bebas dan terikat dalam bahan baku dengan menggunakan panas dari reaksi eksotermis pada tahap selanjutnya. Suhu pengeringan umumnya 100 – 200 °C, dan pengeringan dapat dilakukan terpisah dari proses gasifikasi

hanya jika biomassa mengandung kadar air yang sangat tinggi, karena kandungan air yang sangat tinggi dapat menghambat kenaikan suhu di dalam reaktor.

- *Pirolisis*. Pada tahap ini biomassa didekomposisi menjadi bahan yang mudah menguap dan arang (biochar) pada suhu sekitar 200 – 1600 °C tanpa adanya oksigen.
- *Pembakaran*. Tahap ini terjadi pada suhu 900 – 1100 °C. Material karbon serta gas hasil pirolisis (CO, H₂, CH₄, C_xH_y) mengalami reaksi oksidasi sebagian juga oksidasi sempurna menghasilkan H₂O, CO₂, CO. Reaksi oksidasi dan pembakaran dengan zat gasifikasi merupakan sumber energi utama pada proses gasifikasi.
- *Reduksi*. Tahap ini berlangsung pada kisaran suhu 800 – 1000 °C. Biochar bereaksi dengan H₂O, CO₂, H₂ menghasilkan CO, H₂, CH₄, dan senyawa hidrokarbon ringan seperti asetilen dan etilen.
(You et al., 2018)

2.2.4. Torrefaksi dan Flash Karbonisasi

Torrefaksi merupakan teknik produksi biochar yang baru dan sering disebut dengan istilah pirolisis ringan. Teknik ini menggunakan laju pemanasan yang rendah hingga menengah. Oksigen, air, dan karbon dioksida yang ada di dalam biomassa dihilangkan menggunakan inert udara tanpa oksigen melalui serangkaian reaksi dekomposisi. Senyawa lignoselulosa, hemiselulosa, selulosa dan lignin mengalami degradasi menjadi CO₂, H₂O dan residu berupa biochar. Torrefaksi digunakan untuk memodifikasi sifat-sifat pada biomassa seperti ukuran partikel, kadar air, luas permukaan, laju pemanasan, densitas energi, dll (Limousy et al., 2017). Proses torrefaksi dapat dikategorikan menjadi:

- *Steam Torrefaction*. Biomassa diolah menggunakan uap dengan suhu tidak lebih dari 260 °C dan waktu tinggal sekitar 10 menit.
- *Torefaksi Basah*. Disebut juga karbonisasi hidrotermal, dimana kontak langsung antara biomassa dengan air pada suhu 180 - 260 °C dan waktu tinggal 5 - 240 menit.
- *Torefaksi Oksidatif*. Proses ini dilakukan dengan cara mengolah biomassa dengan zat pengoksidasi seperti gas yang digunakan untuk proses pembakaran, sehingga menghasilkan energi panas. Energi panas ini yang digunakan untuk menghasilkan suhu yang dibutuhkan.

Mekanisme proses torrefaksi adalah proses pirolisis tidak sempurna pada suhu operasi 200 - 300 °C, waktu tinggal kurang dari 30 menit, laju pemanasan kurang dari 50 °C/menit, tanpa oksigen dan pada tekanan atmosfer. Proses torrefaksi kering dapat diklasifikasikan ke dalam berbagai fase seperti pemanasan, pengeringan, torrefaksi dan pendinginan. Sebagai catatan: pengeringan dapat diklasifikasikan sebagai proses pra-pengeringan dan pasca pengeringan tergantung jumlah air yang terkandung di dalam bahan baku.

Pada Flash Karbonisasi, kilatan api (*flash fire*) dinyalakan di bagian *packed bed*, dimana biomassa diletakkan dan proses ini dilakukan pada tekanan tinggi sekitar 1 - 2 MPa. Biomassa diubah menjadi produk fase padat dan fase gas, seluruh proses dilakukan pada suhu 300 - 600 °C dan waktu reaksi kurang dari 30 menit. Sekitar 29 - 40% biomassa dikonversi menjadi biochar dan prosesnya menurun dengan meningkatnya tekanan. Proses flash karbonisasi tidak digunakan secara umum (Yu et al., 2017).

2.3. Bahan Baku Biochar

Jenis bahan baku juga mempengaruhi sifat akhir biochar, khususnya struktur dan sifat fisika-kimia yang dapat menyebabkan peru-

bahan hara tanah dan ketersediaan karbon (C), serta memberikan perlindungan mikroorganisme menguntungkan. Biochar berbasis kayu umumnya menghasilkan biochar yang lebih kaya C dibandingkan bahan baku lainnya, karena mengandung lignin dan mineral yang tinggi. Biochar berbasis kayu juga memiliki luas permukaan spesifik (*specific surface area* = SSA) dan ukuran volume pori (*pore volume* = PV) yang lebih besar dibandingkan dengan pilihan bahan baku lainnya. Terkait karakteristik SSA dan PV, proses sintesis biochar mengurangi ukuran struktur sel kayu yang relatif besar menjadi pori-pori yang lebih kecil, dan dengan demikian SSA meningkat (Weber & Quicker, 2018; Downie et al., 2009) sama halnya dengan PV. Peningkatan SSA dan PV juga dapat dikaitkan dengan proses penguapan gas atau air selama pirolisis dan hilangnya senyawa organik mikromolekul, dimana keduanya dapat menciptakan rongga dalam matriks biochar selama pirolisis (Gai et al., 2014). Sebaliknya, biochar yang dihasilkan dari pupuk kandang/biosolid biasanya menghasilkan SSA yang relatif rendah, hal ini diduga karena adanya deformasi, retak struktural atau penyumbatan mikropori. Selain menyediakan C, bahan baku juga menyediakan nutrisi atau unsur hara seperti K, Ca, P, N, S, Mg (Ahmad et al., 2014).

Biochars berbasis limbah tanaman, rumput-rumputan, dan pupuk kandang/biosolid memiliki kemampuan tukar kation (KPK) dan pH yang lebih besar dibandingkan dengan biochar berbasis kayu. KPK dapat dihasilkan selama pirolisis, karena permukaan bahan teroksidasi dan terbentuk gugus fungsi anorganik (Briggs et al., 2012). Peningkatan KPK dapat juga dikaitkan dengan peningkatan pH yang mengarah ke muatan yang bergantung pada pH, atau endapan tidak larut yang ada dalam abu yang bertindak sebagai tempat reaksi (Ippolito et al., 2020).

2.3.1. Klasifikasi Bahan Baku

Bahan yang digunakan sebagai bahan baku memproduksi biochar memiliki dampak langsung terhadap sifat dan kualitas dari biochar yang dihasilkan. Klasifikasi bahan baku ada bermacam-macam tipe penggolongannya, yaitu:

1. Bahan baku diproses dan tidak diproses

Bahan baku diproses adalah bahan baku biomassa yang telah melalui proses kimia (misalnya, pulp atau bubur kertas) dan atau proses biologi (misalnya, kotoran ternak, pupuk kandang, lumpur hasil pengolahan limbah secara biologi) diluar pengolahan mekanis sederhana untuk mengubah sifat fisiknya. Bahan-bahan yang termasuk kriteria ini adalah pupuk kandang (kotoran sapi, domba, kuda, babi, ayam, atau hewan ternak lainnya), lumpur pengolahan kertas, lumpur limbah, lumpur pengolahan aerobik/anaerobik, limbah industri makanan, limbah padat rumah tangga (furniture atau limbah kayu lainnya, limbah pemangkasan halaman, limbah makanan).

Bahan baku tidak diproses adalah bahan baku biomassa yang berasal kingdom tumbuhan, tumbuh di lingkungan yang bersih dan tidak terkontaminasi, yang mungkin telah melalui proses mekanis untuk mengubah sifat fisiknya (misalnya, ukuran partikel), tetapi belum melalui proses pengolahn kimia dan tau biologi (misalnya, fermentasi). Bahan-bahan yang termasuk kriteria ini adalah sekam dan jerami padi, tongkol dan kulit jagung, ampas tebu, rumput, bamboo, tempurung kelapa, residu tanaman minyak (cangkang kelapa sawit, serat kelapa sawit, tandan kosong kelapa sawit), residu tanaman polong-polongan (kedelai, semanggi), residu rami, kayu lunak (*softwoods*), kayu keras (*hardwoods*).

Pengkatogorian ini bertujuan untuk memastikan bahwa bahan baku biochar harus bebas dari bahan berbahaya, sehingga aman dalam pengaplikasiannya (International Biochar Initiative, 2015).

2. Bahan baku berdasarkan sumbernya

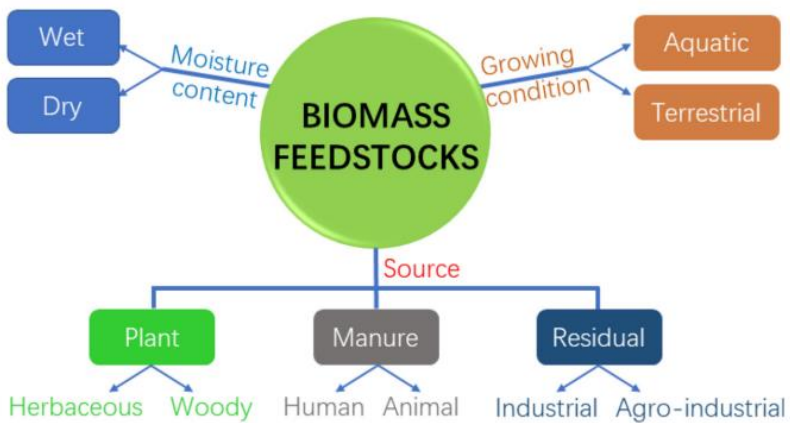
Berbasis Kayu. Bahan baku berbasis kayu menghasilkan biochar dengan kandungan C paling tinggi dibandingkan bahan lainnya. Contoh bahan berbasis kayu: tempurung kelapa, bambu, kulit kayu, serbuk gergaji (pinus, sengon, dll) dan bahan dasar kayu sejenisnya.

Sisa tanaman pertanian. Bahan baku berbasis limbah pertanian menghasilkan biochar dengan kandungan C lebih rendah dibandingkan bahan baku kayu dan rumput, namun memiliki kandungan K dan P yang lebih tinggi jika dibandingkan limbah berbasis kayu. Contohnya: jagung, jerami gandum, jerami dan sekam padi, kentang, kedelai, tebu dan ampas tebu, kapas, anggur, jeruk, kacang tanah, biji jerami/lobak.

Rumput-rumputan. Bahan baku berbasis rumput menghasilkan biochar dengan kandungan K dan Ca relatif tinggi jika dibandingkan dengan bahan baku lainnya. Contohnya: spesies rumput dan berdaun seperti *miscanthus* (*Miscanthus spp.*), *switchgrass* (*Panicum virgatum*), glagah putih atau *giant reed* (*Arundo spp.*), alang-alang (*Phragmites australis*), lembang atau *typha* (*Typha spp.*), eceng gondok (*Eichhornia crassipes*), dan spesies rumput kecil lainnya.

Pupuk kandang/biosolid. Bahan baku berbasis pupuk kandang (manure)/biosolid menghasilkan biochar dengan kandungan N, S, P, Ca, dan Mg paling tinggi dibandingkan bahan baku lainnya. Contohnya: lumpur pabrik kertas, kotoran ternak, pupuk kandang. (Ippolito et al., 2020)

Klasifikasi bahan baku biomassa menurut Yuan et al. (2019), bahan baku dikategorikan menjadi 3 yaitu berdasarkan kandungan air, lokasi tumbuh bahan baku (untuk membedakan tanaman air dan darat), dan sumber bahan baku yang dibagi menjadi tiga sumber yaitu berbasis tanaman, residu atau kotoran hewan ternak dan manusia, serta berbasis residu industri dan pertanian. Gambar 6 merupakan klasifikasi bahan baku biomassa menurut Yuan et al. (2019).

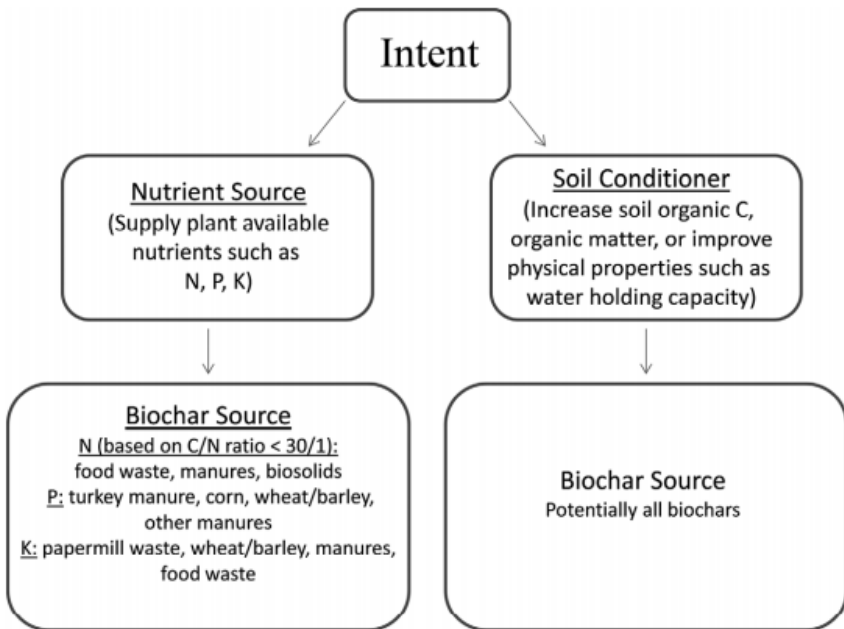


Gambar 6. Klasifikasi Bahan Baku Biochar

2.3.2. Pemilihan Bahan Baku

Pemilihan bahan baku pembuatan biochar didasarkan pada tujuan aplikasi biochar khususnya jika diaplikasikan sebagai bahan amelioran, apakah sebagai sumber nutrisi atau kondisioner untuk tanah. Jika kandungan C tersimpan merupakan tujuan utama pembuatan biochar maka yang digunakan adalah biochar berbasis kayu terutama dengan karakteristik C aromatik yang tinggi dan rasio O/C, serta H/C yang rendah. Jika tujuan penggunaannya adalah N-P-K, maka biochar berbasis rumput atau pupuk kandang/biosolid dapat digunakan. Sedangkan, apabila tujuannya adalah untuk mendapatkan

KPK dan pH yang tinggi maka biochar berbasis sisa atau limbah tanaman pertanian, rumput dan pupuk kandang/biosolid dapat digunakan. Selain bahan baku, untuk mendapatkan kandungan C, P, Ca dan Mg yang tinggi dapat dilakukan dengan menaikkan suhu pirolisis. Pemilihan bahan baku biochar secara praktis disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemilihan Bahan Baku Biomassa Berdasarkan Tujuan Penggunaan Biochar (Ippolito et al., 2015)

2.4. Aplikasi Biochar

Aplikasi biochar dalam buku ini akan dikategorikan menjadi tiga yaitu biochar untuk amandemen tanah, biochar sebagai bahan aditif pupuk kandang/kompos dan non amandemen tanah (Gambar 8). Pada aplikasi non amandemen tanah biochar juga memainkan peran penting dalam menghilangkan kontaminan dan polutan dari tanah dan lingkungan. Biochar kaya karbon yang diproduksi menggunakan suhu pirolisis tinggi memiliki efisiensi penghilangan polutan organik

yang lebih tinggi karena memiliki porositas, luas permukaan, pH, kandungan karbon terlarut yang lebih sedikit, dan sifat hidrofobik yang baik. Sedangkan biochar yang diproduksi dengan suhu pirolisis yang rendah memiliki gugus fungsi yang mengandung oksigen, karbon organik terlarut tinggi dan kurang berpori, sehingga jenis biochar ini lebih cocok untuk menghilangkan polutan anorganik. Biochar juga dapat digunakan untuk aplikasi lainnya seperti katalis, pengolahan air limbah, penyimpanan energi, sumber panas, sumber karbon dan lain sebagainya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1

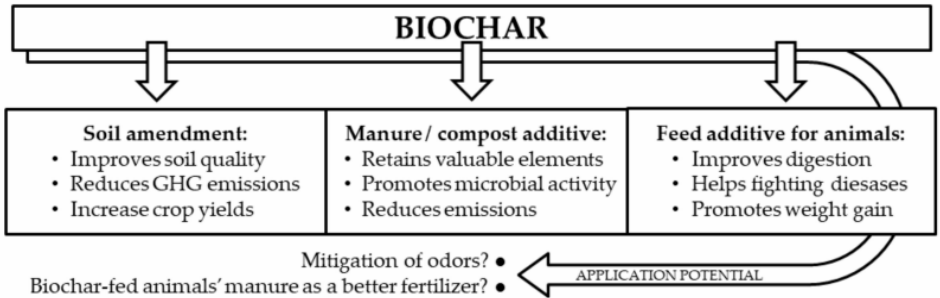
Biochar untuk amandemen tanah. Sistem pengelolaan lahan pertanian yang kurang baik mengakibatkan peningkatan emisi gas karbon dioksida dan meningkatkan degradasi senyawa organik di dalam tanah. Berdasarkan hasil-hasil penelitian upaya yang dilakukan untuk meningkatkan kandungan karbon organik dalam tanah yaitu dengan memasukkan biomassa ke dalam tanaman dan kotoran hewan. Aplikasi biochar ke dalam tanah tidak hanya membantu dalam mengisolasi karbon di dalam tanah dan mengurangi efek gas rumah kaca, tetapi juga meningkatkan kualitas tanah dengan cara menetralkan pH tanah, meningkatkan kesuburan dan memperbaiki struktur tanah, meningkatkan KPK dan meminimalisir toksisitas alumunium, meningkatkan produktivitas pertanian dengan mempertahankan retensi air, meningkatkan aktivitas mikroba dan memperkuat pertumbuhan mikroba tanah, serta mengurangi dan mencegah pelindian nutrisi di dalam tanah.

Biochar sebagai bahan aditif pupuk kandang/kompos. Salah satu pemanfaatan biochar adalah penggunaannya bahan aditif pada pupuk kandang, atau limbah kompos lainnya. Biochar dengan porositas tinggi dan luas permukaan yang besar dapat menjadi adsorben yang sangat baik, mempertahankan unsur hara berharga (misalnya, N, C, dan S) yang biasanya akan hilang ke lingkungan sebagai polutan yang tidak diinginkan, serta unsur mikro lainnya dalam campuran pengomposan. Luas permukaan tinggi menyediakan habitat

yang cocok untuk mikroorganisme, sehingga dapat meningkatkan aktivitas mikroba, dengan ketersediaan kandungan C organik yang relatif memiliki pengaruh positif yang kuat pada proses pengomposan. Penambahan biochar pada pengomposan dapat mengurangi emisi gas-gas H₂S, NH₃, N₂O dan CO₂, tentunya hal ini akan membantu dalam upaya pengurangan GRK dan mendukung mitigasi lingkungan (Kalus et al., 2019).

Biochar untuk non-amandemen tanah. Aplikasi biochar untuk *perbaikan lingkungan* yang tercemar didasarkan pada kemampuan biochar dalam menghilangkan polutan organik dan anorganik melalui proses adsorpsi dan degradasi senyawa polutan di dalam air. Biochar juga dapat digunakan untuk memurnikan udara dari gas karbon dioksida dan hidrogen sulfida. Pada polutan organik, hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar dapat mengurangi kebutuhan oksigen kimia (COD) pada air limbah, senyawa aromatis, asam asetat, rodhamin B, senyawa fenol, limbah-limbah industri farmasi dan sebagainya. Pada senyawa anorganik, biochar dapat mengurangi konsentrasi ion logam (PO₄³⁺, NH₄⁺, As³⁺, Cd²⁺, Cr³⁺, Pb²⁺, Zn²⁺, dan Cu²⁺) pada pengolahan air limbah melalui proses adsorpsi. Aplikasi biochar pada bidang energi, khususnya *penyimpanan energi* antara lain sebagai bahan superkapasitor, material anoda pada produksi baterai, dan karbon *fuel cell* (Yaashikaa et al., 2020). Pada aplikasi sumber *bahan bakar atau energi*, biochar secara tradisional digunakan sebagai bahan bakar padat. Aplikasi biochar sebagai *katalis* digunakan pada beberapa reaksi seperti: sintesis biodiesel melalui reaksi pseudo katalitik transesterifikasi, sintesis asam suksinat, reaksi esterifikasi asam lemak, sintesis biodiesel dan reaksi transesterifikasi lainnya, proses *catalytic reforming* limbah elektronik, reaksi redoks,

serta degradasi bakteri menambahkan komposit berbahan dasar nanopartikel berbasis perak (Ag) (Bartoli et al., 2020).



Gambar 8. Aplikasi Biochar (Kalus et al., 2019)

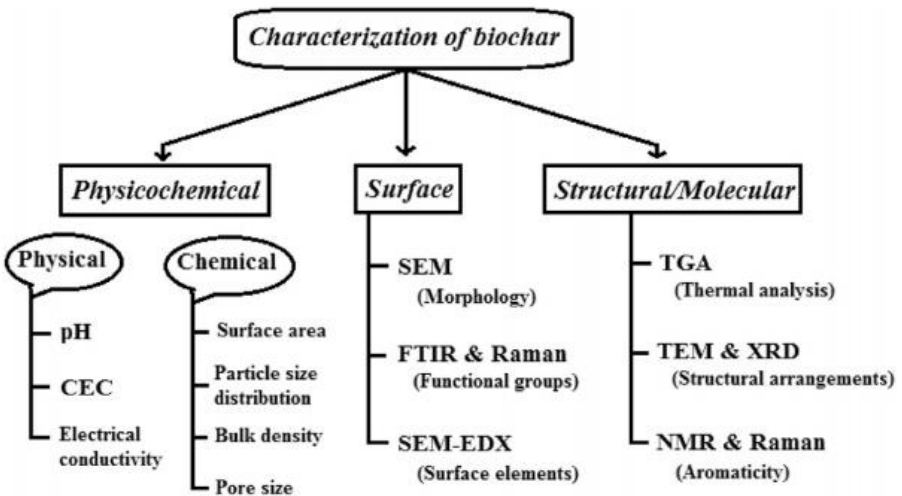


BAB 3

KARAKTERISTIK BIOCHAR

BAB III. KARAKTERISTIK BIOCHAR

Karakteristik biochar merupakan indikator penting untuk menentukan aplikasinya. Bab ini berfokus pada sifat fisika dan kimia biochar sebagai amandemen tanah, sesuai dengan potensi utama biochar diproduksi. Sifat-sifat ini dapat berubah secara ekstensif, tergantung bahan baku biochar dan bagaimana teknik produksi atau pembuatannya. Gambar 9 menunjukkan sifat fisika-kimia dan metode analisis karakterisasi biochar (ada sedikit kesalahan pada gambar, dimana sifat fisika dan kimia tertukar).



Gambar 9. Sifat Fisika-Kimia Biochar (Yaashikaa et al., 2020)

3.1. Sifat Fisika Biochar

Karakteristik atau sifat fisika biochar tidak hanya bergantung pada bahan baku biomassa, tetapi juga pada jenis teknik pirolisis yang digunakan untuk memproduksi biochar, termasuk pra dan pasca penanganan biomassa dan biochar. Perubahan struktur asal, penataulangan mikro-struktur, pengikisan, dan peretakan biomassa tergantung pada kondisi pemrosesan.

3.1.1. Morfologi Biochar

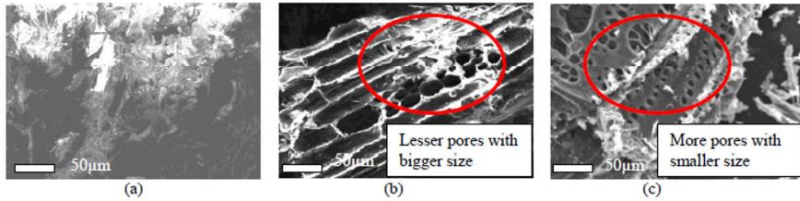
Morfologi biochar membahas mengenai penyusunan materi biochar dan perbedaan visual biomassa dan biochar setelah mengalami pirolisis. Biomassa mengalami kehilangan massa (kebanyakan dalam bentuk air dan senyawa organik yang mudah menguap), sehingga mengalami perubahan dan pengurangan volume. Sebagai contohnya pada pirolisis lambat, mula-mula biomassa mengalami penurunan berat (massa) karena kehilangan air pada suhu sekitar 100 °C, kemudian hemiselulosa mulai terdekomposisi pada suhu sekitar 200 °C dan laju kehilangan berat tertinggi mencapai puncaknya pada suhu 290 °C, yaitu 0,35 b%/°C. Saat suhu meningkat terjadi dekomposisi tumpang tindih antara selulosa dan hemiselulosa yang mencapai puncak tertingginya di suhu 385 °C dengan laju kehilangan berat 1,21 b%/°C. Pada suhu 380 °C berat residu mencapai 28,5 b%. Degradasi lignin terjadi saat suhu pirolisis melebihi 380 °C. Tabel 2 menjelaskan perubahan morfologi biomassa setiap kenaikan suhu pirolisis yang dicontohkan dari biomassa jenis rumput *miscanthus* yaitu Geodae-Uksae 1.

Tabel 2. Yield Massa (% berat) Pirolisis Lambat Geodae-Uksae

Suhu (°C)	300	400	450	500	550	600	700
Biochar	49,54	30,95	29,42	27,15	26,21	25,92	25,10
Bio-oil	30,70	48,31	49,01	50,03	50,57	49,78	48,24
Gas	19,75	20,74	21,56	22,82	23,23	24,30	26,66
Fixed carbon (wt.% dry)	53,34	73,89	78,48	82,59	td	88,07	91,66
C (wt.% dry)	66,19	74,69	78,29	79,42	td	83,67	85,93
C yield (wt.% dry of C in raw biomass)	73,55	51,86	51,67	48,36	td	48,65	48,36

Berdasarkan Tabel 2 dapat diamati bahwa berat biochar berkurang seiring dengan peningkatan suhu, namun kandungan C dalam biochar meningkat, hal ini menyiratkan bahwa semakin tinggi suhu biochar akan semakin banyak mengandung C dan melepas unsur hidrogen (H) dan oksigen (O). Salah satu tujuan utama produksi biochar adalah untuk menghilangkan karbon dalam tanah, oleh karena itu kandungan karbon di dalam biochar bermanfaat dalam memaksimalkan jumlah penyimpanan karbon (Lee et al., 2013).

Perbedaan morfologi biomassa ke bentuk biochar dapat diidentifikasi dengan menggunakan mikroskop electron (SEM = *Scanning Electron Microscope*) untuk memeriksa sifat visual dari kedua bahan tersebut. Hasil penelitian Shaaban et al. (2013) yang membandingkan antara visualisasi biomassa dan biochar serbuk gergaji kayu pohon karet yang diproses dengan teknik pirolisis lambat, menunjukkan bahwa terlihat jelas morfologi permukaan biomassa halus tanpa ada pori-pori sebelum dipirolisis. Namun demikian, setelah proses pirolisis tampak pori-pori terdefinisi dengan baik yang mungkin disebabkan oleh penguapan senyawa organik.



Gambar 10. Perbandingan Citra SEM Biomassa dan Biochar Serbuk Gergaji Kayu Karet: (a) biomassa; (b) Biochar T 300°C; (c) Biochar T 700 °C.

Dapat diamati pada Gambar 10, bahwa ukuran pori relatif lebih kecil dengan volume pori yang lebih tinggi saat suhu pirolisis 700 °C dibandingkan dengan suhu pirolisis yang lebih rendah (300 °C). Pori memiliki kerkaitan dengan struktur biomassa dan suhu pirolisis.

3.1.2. Distribusi Ukuran Partikel

Ukuran partikel, bentuk, dan struktur internal biochar memainkan peran penting dalam mengontrol penyimpanan air tanah karena mengubah karakteristik pori. Ukuran partikel dapat mempengaruhi baik ruang pori antar partikel (interpori) maupun pori-pori dari biochar (intrapori) melalui proses yang berbeda, karena ukuran dan konektivitas partikel yang kemungkinan berbeda. Selain itu, ketika biochar diaplikasikan di lapangan, partikel biochar mungkin memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda dibandingkan dengan partikel tanah. Penambahan butiran biochar dengan bentuk dan ukuran yang berbeda akan mengubah karakteristik interpori (ukuran, bentuk, konektivitas, dan volume) tanah, sehingga akan mempengaruhi penyimpanan dan mobilitas air. Sebagai contohnya, partikel biochar halus dapat mengisi pori-pori di antara partikel tanah kasar, sehingga memperkecil ukuran pori dan mengubah bentuk interpori. Sebaliknya, partikel biochar dengan ukuran yang besar (lebih besar dari ukuran partikel tanah) dapat mengganggu pengemasan butiran tanah

yang kecil, yang menyebabkan peningkatan ukuran interpori (Liu et al., 2017).

3.1.3. Daya Adsorpsi

Daya adsorpsi atau kapasitas adsorpsi biochar berhubungan dengan porositas, luas permukaan biochar, gugus fungsi dan pH. Daya adsorpsi umumnya dikaitkan dengan penyisihan polutan di dalam tanah dan air.

Yaashikaa et al. (2020) memaparkan bahwa efisiensi penyisihan polutan organik (pestisida) pada tanah yang diberi biochar lebih baik dari pada tanah tanpa biochar. Tanah yang diberi biochar dapat mengurangi ketersediaan polutan yang diserap tanaman, sedangkan tanaman yang ditanam di tanah tanpa biochar penyerapan tanaman terhadap polutan tinggi. Penghilangan polutan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi biochar. Sifat-sifat biochar mempengaruhi penyerapan polutan organik. Biochar yang memiliki ukuran partikel kecil memiliki luas permukaan yang besar dan menunjukkan hasil penyisihan yang lebih baik, serta waktu yang dibutuhkan untuk penghilangan atau penyisihan polutan lebih sedikit. Selain sifat biochar, kondisi tanah juga berkontribusi terhadap adsorpsi atau degradasi polutan, misalnya penyerapan pestisida hanya terjadi pada pH rendah.

Namun, berbeda dengan polutan organik, biochar yang dihasilkan menggunakan suhu rendah cocok untuk menyerap polutan anorganik, karena biochar yang dihasilkan menggunakan suhu rendah memiliki banyak gugus fungsi, kandungan karbon organik tinggi dan berpori. Pertukaran ion merupakan mekanisme yang dominan untuk menghilangkan polutan anorganik khususnya logam berat, oleh karena itu keberadaan gugus fungsi dan pH biochar turut berperan. Sifat fisikokimia biochar mempengaruhi penyerapan struktur berpori dan meningkatkan reduksi logam berat. Zeta potensial dan kapasitas tukar kation biochar menurun dengan meningkatnya pH tanah. Tanah yang

diberi biochar memiliki potensi lebih untuk imobilisasi logam berat. Misalnya, konsentrasi logam berat seperti timbal, kadmium dan tembaga berpotensi berkurang di tanah yang diberi biochar. Biomassa yang digunakan untuk memproduksi biochar pada menghilangkan polutan anorganik adalah produk pertanian seperti tongkol jagung, bit gula, jerami kedelai, switchgrass, dll, kotoran hewan dan lumpur limbah. Di antara logam berat, tembaga memiliki afinitas yang kuat terhadap gugus -OH dan -COOH serta penghilangannya terutama tergantung pada jenis biomassa dan pH. Pada pH 6 – 7 penghilangan logam dilakukan dengan pertukaran ion, sedangkan pada pH 7 – 9 mekanisme penghilangan dilakukan dengan perpaduan peran permukaan dan daya tarik elektrostatis. Pada pH yang lebih tinggi, kelarutan logam berkurang sehingga menghambat mobilitas logam dalam tanah. Dosis biochar juga berkontribusi pada daya adsorpsi logam berat, semakin tinggi dosis biochar, semakin banyak senyawa anorganik yang terserap.

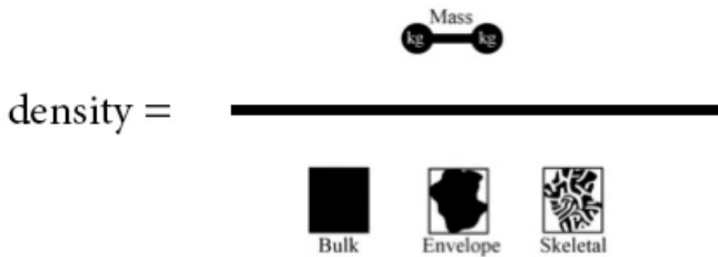
3.1.4. Kadar Abu

Kadar abu adalah bahan anorganik tidak terbakar dan tidak mengandung unsur karbon pada proses pirolisis. Jenis biomassa dan teknik pirolisis (temperatur dan waktu proses yang berbeda) akan menyebabkan kadar abu pada biochar berbeda. Secara umum, waktu dan suhu pirolisis berkorelasi linier terhadap kadar abu. Kadar abu dalam biomassa adalah unsur kimia berupa garam karbohidrat, fosfat, sulfat, silikat, kalium, magnesium, kalsium yang jika dipanaskan hingga mencapai berat konstan akan menghasilkan kandungan abu dalam biochar yang sebanding dengan kandungan abu dalam biomassa. Kadar abu dalam biochar adalah oksida-oksida logam yang mencakup mineral-mineral tidak dapat menguap dan bersifat tidak mudah terbakar. Hubungan kadar abu biomassa dan kadar abu biochar juga berkorelasi linier. Nilai kadar abu yang tinggi di dalam biochar mempengaruhi mutu biochar, karena menyebabkan luas permukaan

biochar menjadi berkurang sebagai akibat dari penyumbatan pori-pori pada biochar. Selain itu juga akan mempengaruhi nilai kalor (*Caloric Value*) dan nilai kadar karbon terikat (*Fixed Carbon*), sehingga akan mempengaruhi sifat fungsional biochar baik sebagai amelioran maupun energi alternatif (Iskandar & Rofiatin, 2017).

3.1.5. Bulk Density

Ada berbagai macam densitas yang digunakan dalam menyatakan sifat fisika biochar, antara lain *bulk density*, *envelope density* dan *skeletal density*. Perbedaan ketiganya lebih jelas digambarkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Perbedaan *Bulk*, *Envelope* dan *Skeletal Density* (Brewer & Levine, 2015)

Bulk density atau densitas curah adalah definisi standar untuk densitas biochar yang digunakan dalam produksi dan penjualan biochar di Amerika Serikat. *Bulk density* umumnya dinyatakan dalam kepadatan “massa atau berat kering”, sehingga *bulk density* adalah berat kering biochar dibagi volume biochar dalam suatu wadah penuh. Volume tersebut mencakup ruang pori di dalam biochar dan diantara partikel sampel di dalam wadah. Nilai densitas biochar dipengaruhi jenis bahan baku biomassa, misalnya tempurung kelapa lebih padat jika dibandingkan jenis tanaman rerumputan seperti

miskantus. Pembeli dan pengguna biochar umumnya ingin mengetahui berapa banyak arang yang mereka peroleh, serta berapa banyak uap air yang mereka bawa. Kelembaban tidak selalu buruk, karena kelembaban standar antara 10% dan 50% basis kering membantu mengendalikan debu, mempermudah penanganan, dan alasan keamanan.

Sebagai informasi tambahan *skeletal density* atau kepadatan rangka juga disebut kepadatan sejati hanya mengukur volume bahan padat. Oleh karena itu digunakan untuk menghitung porositas dan pergerakan partikel. *Skeletal density* berhubungan langsung dengan komposisi bahan padat. Pada biochar *skeletal density* memberikan informasi tentang kandungan abu dan tingkat pirolisis, maksudnya adalah padatan yang mengandung logam akan lebih berat dibandingkan padatan yang hanya mengandung H, C, N dan O. Sehingga biochar yang dibuat dari bahan baku biomassa dengan kadar abu yang lebih tinggi, seperti beras sekam, jerami atau pupuk kandang, memiliki *skeletal density* yang lebih tinggi. Untuk biochar yang dibuat dari bahan baku biomassa yang sama, *skeletal density* yang lebih tinggi biasanya dikaitkan dengan kondisi pirolisis yang lebih lengkap dan pada suhu yang lebih tinggi dan/atau waktu reaksi yang lebih lama. Sedangkan pada *envelope density* perhitungan volume partikel termasuk ruang pori di dalam partikel (intrapori). Untuk bahan berpori, seperti biochar, *envelope density* berada di antara *bulk density* dan *skeletal density*. Porositas penting untuk memahami efek penambahan biochar pada sifat tanah yang berhubungan dengan pori-pori, diantaranya kapasitas menahan air, aerasi, habitat mikroba, dll. Biochars dengan *envelope density* yang rendah, seperti biochar dari rumput miskantus, lebih mungkin untuk mengapung dan rentan terhadap erosi daripada biochar dari kayu., sehingga amandemen tanah dengan menggunakan biochar dari rumput dapat meningkatkan kapasitas menahan air tanah lebih dari biochar kayu (Brewer & Levine, 2015).

3.1.6. Ukuran Pori

Ukuran pori biochar berbeda satu dengan lainnya tergantung dari jenis bahan baku biomassa dan kondisi pirolisisnya (waktu dan suhu). Ukuran pori berfungsi untuk menentukan kemampuan biochar dalam menahan air yang tersedia untuk tanaman. Secara umum pori-pori penyimpanan yang mampu menahan air adalah sekitar 0,5 – 50 μm , selain itu ukuran pori juga dapat meningkatkan retensi nutrisi dalam tanah. Pada pirolisis suhu rendah ukuran pori biochar yang didapat lebih kecil jika dibandingkan dengan suhu tinggi (Gambar 7), hal ini dikarenakan pada suhu rendah reaksi pirolisis tidak lengkap, tidak memecah semua dinding sel tanaman (selulosa, hemiselulosa) melalui pelepasan senyawa volatile atau mudah menguap, sehingga rasio O/C dan H/C masih tinggi, atau terjadi penumpukan tar di atas bukaan pori (Brewer et al., 2014).

3.2. Sifat Kimia Biochar

3.2.1. pH

pH biochar umumnya basa (7,1 – 10,1). Meskipun perbedaan pH dapat disebabkan oleh jenis biomassa, namun suhu pirolisis diketahui sangat berdampak pada perubahan nilai pH biochar. Hal ini dikarenakan peningkatan suhu pirolisis akan menghilangkan gugus fungsi asam dan kadar abu meningkat, menyebabkan biochar menjadi lebih basa. Lebih lengkapnya, pada suhu pirolisis yang lebih tinggi, nutrisi dalam bentuk mineral, atau garam (seperti KOH, NaOH, MgCO_3 , CaCO_3 , garam logam organik) terpisah dari matriks organik padat, menghasilkan nilai pH yang meningkat. Biochars limbah tanaman, rumput lain, dan pupuk kandang/biosolid memiliki KPK dan pH yang lebih besar dibandingkan dengan biochar berbasis kayu. Peningkatan KPK akibat permukaan biomassa teroksidasi dan gugus fungsi anorganik terbentuk selama pirolisis, juga dapat dikaitkan dengan peningkatan pH (Ippolito et al., 2020). Karena sifatnya yang

basa, biochar dapat digunakan untuk memperbaiki kondisi tanah asam, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengapuran.

3.2.2. Komposisi Unsur

Perubahan total unsur makro biochar merupakan fungsi dari jenis atau teknik pirolisis, jenis bahan baku biomassa, dan suhu pirolisis. Namun, umumnya jenis pirolisis memiliki sedikit pengaruh pada total unsur makro dibandingkan dengan jenis bahan baku biomassa dan suhu pirolisis. Sebagaimana telah disampaikan pada bab sebelumnya, bahan baku berbasis kayu menghasilkan biochar dengan kandungan C yang lebih besar dibandingkan pilihan bahan baku lainnya. Selain itu peningkatan suhu pirolisis secara signifikan meningkatkan kandungan biochar C melalui penguapan unsur-unsur lain, terutama H dan O. Dengan meningkatnya suhu pirolisis, air, gugus fungsi dengan permukaan organik, dan ter akan hilang, kesemuanya mengandung atom H dan O. Selama pirolisis, O dilepaskan pada tingkat yang lebih besar dari H, dengan produk akhir biochar ditandai dengan penurunan rasio H/C dan mengandung kandungan oksigen yang rendah.

Dalam hal kandungan N total, urutannya adalah biochar kayu < biochars limbah tanaman < rerumputan lain < pupuk kandang/biochars biosolids. Kandungan N biochar yang lebih besar kemungkinan dari asam amino dan protein yang konsentrasinya lebih besar dalam bahan-bahan ini. Konsentrasi total P, K, Ca, dan Mg biochar juga dipengaruhi jenis bahan baku biomassa. Biochar berbasis pupuk kandang/biosolid biasanya mengandung konsentrasi P, Ca, dan Mg yang lebih besar, biochar berbasis rumput lainnya mengandung cukup K dan Ca, sedangkan limbah tanaman dan biochar berbasis kayu mengandung jumlah paling sedikit dari keempat elemen ini. Secara umum, peningkatan suhu pirolisis meningkatkan kandungan P dan Ca, dan memiliki efek campuran terhadap kandungan Mg, serta tidak berdampak signifikan pada konsentrasi K. Hasil penelitian

Ippolito et al. (2015) menyatakan bahwa, unsur P, K, Ca, dan Mg dan suhu pirolisis kemungkinan merupakan hasil dari konsentrasi unsur awal yang ada di berbagai bahan baku, serta peningkatan kadar abu dengan meningkatnya suhu pirolisis.

Biochar yang mengandung kandungan sulfur (S) tinggi dapat berasal dari jenis bahan baku biomassa (misalnya, pupuk kandang), suhu pirolisis yang relatif lebih rendah (misalnya, $<500\text{ }^{\circ}\text{C}$), juga S yang terikat pada unsur K, Ca dan Mg (Ippolito et al., 2020).

3.2.3. Luas Permukaan

Luas permukaan tanah merupakan karakteristik tanah yang penting karena mengontrol semua fungsi penting kesuburan tanah, termasuk kapasitas menahan air dan nutrisi, aerasi, dan aktivitas mikroba. Keterbatasan daya ikat air dan unsur hara tanah berpasir sebagian terkait dengan luas permukaan partikel tanah yang relatif kecil, sedangkan tanah liat mungkin memiliki kapasitas menahan air dan nutrisi total yang tinggi tetapi memiliki aerasi yang tidak memadai. Luas permukaan biochar umumnya lebih tinggi dari pasir dan sebanding dengan atau lebih tinggi dari tanah liat, oleh karena aplikasi biochar pada tanah akan meningkatkan total luas permukaan spesifik tanah dalam fungsinya sebagai amandemen tanah (Downie et al., 2009). Aplikasi biochar pada tanah yang tidak subur meningkatkan porositas melalui struktur internal yang berpori serta ukuran dan bentuk partikel. Peningkatan porositas dan luas permukaan biochar juga memungkinkan untuk mempertahankan lebih banyak kelembaban. Telah dikemukakan bahwa densitas biochar yang rendah ($\sim 300\text{ kg.m}^{-3}$) dan karbon organiknya yang sangat stabil terhadap tanah memiliki potensi untuk mengurangi densitas bulk tanah dan ketahanan penetrasi, dan karenanya dapat meningkatkan total porositas tanah (Gwenzi et al., 2015).

Luas area biochar merupakan fungsi dari jenis bahan baku biomassa, kondisi pirolisis dan perlakuan sebelum dan sesudah pemrosesan (misalnya: penggerusan). Suhu pirolisis yang tinggi mengakibatkan peningkatan luas permukaan dan fraksi karbonisasi biochar, keduanya akan menyebabkan kemampuan penyerapan nutrisi, air, maupun polutan tanah tergantung pengaplikasiannya (Wang et al., 2018).

3.2.4. KPK

Kapasitas Tukar Kation (KPK) adalah kapasitas tanah untuk menjerap dan menukar kation, serta merupakan indikator yang menunjukkan ketersediaan hara bagi tanaman dan juga merupakan indikator kesuburan tanah. KPK erat kaitannya dengan kation-kation di dalam tanah seperti Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , NH_4^+ yang ditukar dan diserap oleh akar tanaman (Soekamto, 2015).

KPK pada biochar merupakan ukuran kemampuan biochar untuk mengadsorpsi nutrisi kation. Dengan kata lain, biochar dengan KPK tinggi memberikan efek menguntungkan dengan mencegah pencucian hara di dalam tanah. Nilai KPK biochar tergantung pada jenis bahan baku biomassa. Misalnya, KPK biochar yang berasal dari pupuk kandang babi (32,7 cmol/kg) lebih rendah dari biochar kotoran ayam (81,4 cmol/kg) pada suhu pirolisis 500 °C (Cely et al., 2015). Namun, KPK biochar dari limbah pabrik kertas (9,0–18,0 cmol/kg) (K. Y. A. Chan et al., 2008) secara signifikan lebih rendah dari CEC biochars yang berasal dari gula ampas tebu (122,0 cmol/kg) (Carrier et al., 2012). Perbedaan ini diamati karena biomassa dengan kandungan abu yang tinggi dapat menghasilkan biochar dengan KPK yang lebih tinggi (Yang et al., 2015). KPK biochar dari pupuk kandang lebih tinggi dari biochar kayu. Dengan kondisi pirolisis yang sama, KPK biochar dari alga (57,5 cmol/kg) lebih tinggi dari biochar unggas (48,4 cmol/kg) dan biochar terendah yang dihasilkan dari jeruk (29,9 cmol/kg) pada 500 °C (Tag et al., 2016).

Oleh karena itu, KPK secara langsung tergantung pada struktur permukaan, gugus fungsi yang menyediakan muatan permukaan, dan luas permukaan yang membuat muatan permukaan dapat diakses.

Beberapa literatur menyatakan bahwa suhu dan jenis teknik pirolisis dapat bervariasi untuk mengoptimalkan produk biochar yang diinginkan. Namun secara umum, peningkatan suhu pirolisis cenderung menurunkan yield biochar tetapi meningkatkan total kandungan C, K dan Mg, pH, kadar abu dan luas permukaan, serta menurunkan KPK biochar. Pirolisis lambat pada umumnya cenderung menghasilkan biochar dengan lebih besar N, S, tersedia P, Ca, Mg, permukaan luas dan KPK dibandingkan dengan pirolisis cepat (Ippolito et al., 2020).



BAB 4

PERAN BIOCHAR SEBAGAI AMANDEMEN TANAH DAN MENJAGA MITIGASI LINGKUNGAN

BAB IV. PERAN BIOCHAR SEBAGAI AMANDEMEN TANAH DAN MITIGASI LINGKUNGAN

Bab ini berisi informasi mengenai potensi biochar di bidang pertanian, khususnya dalam upaya merehabilitasi lahan, mengingat produksi biochar merupakan salah satu usaha untuk mengurangi dan memanfaatkan limbah pertanian yang bahan bakunya cukup melimpah di negara kita.

4.1. Perbaikan dan Peningkatan Kualitas Tanah

Biochar dapat meningkatkan ketersediaan hara tanah, aktivitas mikroba, bahan organik tanah, retensi air dan hasil tanaman di dalam tanah, sekaligus mengurangi kebutuhan pupuk, emisi gas rumah kaca, pencucian hara, erosi, bioavailabilitas polutan dan mobilitas polutan (Shareef & Zhao, 2017).

4.1.1. Perbaikan Kualitas Tanah

Biochar dapat digunakan untuk memperbaiki tanah marginal, karena biochar merupakan salah satu bahan amelioran atau pembenah tanah yang dapat meningkatkan produktifitas tanah marginal, dengan cara memperbaiki sifat fisik, kimia, serta biologi tanah, selain itu biochar memiliki keunggulan sulit terdekomposisi dan dapat bertahan lama dalam tanah. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh penulis, yang mengaplikasikan biochar pada lahan bekas penambangan batu bata di desa Potorono Banguntapan, Yogyakarta, Indonesia, diperoleh bahwa aplikasi amelioran berupa biochar dari tempurung kelapa dengan dosis 15 t/ha dapat meningkatkan kandungan C organik tanah sebesar 0,78% dengan inkubasi selama dua bulan, sedangkan kapasitas tukar kation tanah meningkat pada inkubasi selama tiga bulan. Yield tanaman yang diperoleh dari tanah yang diberi biochar tempurung kelapa lebih baik daripada tanah yang diberi pupuk organik kotoran sapi dan ampas tebu tanpa biochar (Herlambang et al., 2019).

Putri et al. (2017) dalam hasil penelitiannya juga memaparkan bahwa, aplikasi biochar pada tanah ultisol mampu meningkatkan pH tanah dan kadar C-organik. Hal tersebut dikarenakan biochar dari jerami padi, tandan kosong kelapa sawit, kulit durian dan kotoran sapi memiliki pH basa (9 – 10,6) dan kadar C yang cukup tinggi (6 – 30%), selain itu biochar juga mampu mengikat C-organik di dalam tanah sehingga tetap stabil dan tidak terdekomposisi oleh mikroorganisme. Pemberian biochar pada tanah ultisol tersebut juga meningkatkan N-total dan P tersedia di dalam tanah. Khususnya biochar dari kotoran sapi memberikan peningkatan N-total dan P tersedia lebih baik dari pada biochar dari sisa tanaman. Ketersediaan kedua unsur tersebut dapat diperoleh melalui empat cara yaitu:

1. Biochar mengurangi leaching atau pelindian unsur hara di dalam tanah. Kehilangan N akibat pelindian dapat dikurangi, karena biochar efektif menjebak ion NO_3^- dan NH_4^+ .
2. Biochar menjebak unsur hara di dalam tanah. Sifat permukaan biochar yang hidrofobik dapat mengadsorpsi molekul organik yang terikat dalam proses khelasi seperti ion Ca^{2+} , Al^{3+} , Fe^{3+} , sehingga kelarutan P meningkat di dalam tanah.
3. Biochar tertentu secara langsung mensuplai atau menyediakan unsur hara, contohnya biochar berbahan baku pupuk kandang kaya P dan N.
4. Aktivitas mikroba di dalam tanah. Biochar memberikan kondisi yang cocok untuk mikroba tanah.

Zhu et al. (2014) melaporkan bahwa aplikasi biochar dari jerami dengan dosis 24 t/ha pada tanah jenis ultisol dan oxisol yang bersifat asam, karena kadungan aluminium yang tinggi, sehingga dapat menghambat pertumbuhan tanaman, mampu menurunkan konsentrasi aluminium dapat ditukar sekitar 47,4 – 61,5% dan meningkatkan P tersedia 4,9 – 142,9%. Kemasaman kedua jenis tanah tersebut dapat dikurangi karena sifat pH biochar yang basa (karena adanya komponen K, Ca, Mg) sehingga dapat menetralkan kemasaman tanah

dan mengurangi kelarutan aluminium serta logam-logam beracun lainnya yang ada di dalam tanah. Biochar juga mampu meningkatkan kemampuan tanah memegang air pada tanah pasir berlempung (Yu et al., 2013).

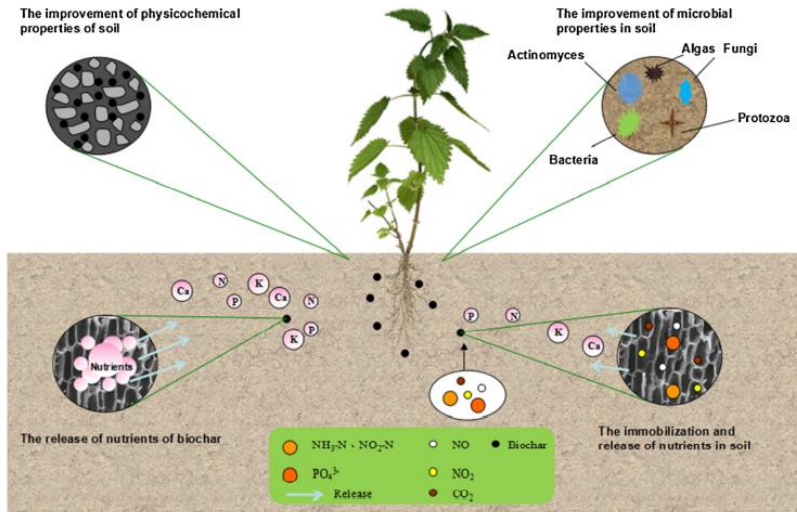
Biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menahan air di pori-porinya yang kecil, ini tentunya akan meningkatkan kapasitas menahan air dan membantu air meresap dari bagian bawah ke permukaan tanah atas melalui pori-pori yang lebih besar setelah terkena air. Peake et al. (2014) menunjukkan bahwa aplikasi biochar dapat meningkatkan kapasitas air tersedia lebih dari 22%.

4.1.2. Peningkatan Kualitas Tanah

Aplikasi biochar dalam tanah tidak hanya membantu dalam mengisolasi karbon dalam tanah, tetapi juga meningkatkan kualitas tanah dengan menetralkan pH tanah, meningkatkan kapasitas tukar kation tanah dan memperkuat pertumbuhan mikroba di dalam tanah. Berdasarkan hal tersebut ada empat aspek hubungan antara tanah dan biochar yaitu:

1. Biochar sebagai sumber nutrisi;
2. Adsorpsi dan desorpsi nutrisi pada biochar;
3. Pengaruh biochar pada sifat-sifat tanah; dan
4. Pengaruh biochar pada biota di dalam tanah.

Keempat aspek hubungan ini dapat divisualisasikan menurut Gambar 12.



Gambar 12. Desain Mekanisme Untuk Meningkatkan Kesuburan Tanah (Ding et al., 2016)

Sebagaimana telah disinggung pada Bab 2 sebagai sumber nutrisi, kandungan nutrisi dalam biochar sangat ditentukan oleh jenis bahan baku biomassa dan suhu pirolisis. Biochar berbasis pupuk kandang memiliki kandungan N dan P yang lebih tinggi jika dibandingkan biochar berbasis kayu dan tanaman lainnya. Biochar berbasis kayu memiliki kandungan C yang tinggi. Selain itu untuk meningkatkan K, Ca, Mg juga dapat dilakukan dengan menaikkan suhu pirolisis.

Kapasitas adsorpsi nutrisi dapat sangat dipengaruhi oleh sifat biochar, termasuk pH, gugus asam permukaan, dan kapasitas pertukaran ion. pH tanah merupakan faktor penting yang mempengaruhi ketersediaan hara biochar. Desorpsi PO_4^{3-} dan NH_4^+ bergantung pada pH, sedangkan pelepasan K^+ dan NO_3^- tidak dipengaruhi pH. Pada pH 2–7, kandungan PO_4^{3-} dan NH_4^+ yang dilepaskan dari biochar akan menurun seiring dengan meningkatnya nilai pH, sedangkan K^+ relatif stabil. Demikian juga yang terjadi pada desorpsi Ca dan Mg

awal dari biochar bergantung pada pH, jumlah pelepasan Ca dan Mg meningkat saat pH menurun dari 8,9 menjadi 4,5.

Biochar dapat menjadi bagian dari strategi adaptasi jangka panjang, karena dapat memperbaiki sifat fisik tanah termasuk peningkatan porositas dan kapasitas penyimpanan air, serta penurunan bulk density. Biochar juga dapat digunakan sebagai amandemen berkelanjutan untuk meningkatkan sifat kimia tanah, misalnya, kandungan abu dalam biochar kaya akan nutrisi yang tersedia, terutama unsur kationik, seperti K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dan Na^+ , serta biochar memiliki potensi besar sebagai bahan yang mengatur pelepasannya secara lambat atau bertahap, untuk mengelola nutrisi tanah dengan lebih baik untuk menghasilkan bioavailabilitas maksimum. Selain itu, kadar abu juga dapat meningkatkan pH tanah yang dapat menentukan KPK tanah dan ketersediaan hara. Selain perubahan secara langsung biochar pada sifat-sifat tanah, biochar juga dapat mengubah status mikroba dan nutrisi tanah di dalam zona perakaran tanaman melalui perubahan sifat fisik tanah (misalnya, kerapatan curah, porositas, dan distribusi ukuran partikel). Secara keseluruhan, perbaikan sifat-sifat tanah sangat berkontribusi pada peningkatan efisiensi penggunaan hara dan air serta produktivitas tanaman (Ding et al., 2016).

4.2. Peningkatan Produktivitas Tanaman Pertanian

Biochar telah terbukti mampu meningkatkan produktivitas tanaman pertanian. Dalam banyak percobaan, baik dalam lingkup lahan kecil (pot) dan studi lapangan, biochar telah terbukti mampu memberikan hasil panen yang lebih baik bila dibandingkan dengan kontrol yang sesuai di mana biochar tidak diterapkan.

Hasil percobaan dengan studi jangka pendek disajikan pada Tabel 3. Nampak bahwa keberadaan biochar menyebabkan peningkatan hasil yang sangat tinggi pada tanah sedikit atau miskin hara seperti tanah ferrosol, calcerosol, ultisol, alfisol dalam beberapa contoh meningkatkan hasil dapat mencapai hingga 2 kali. Di tanah yang lebih

subur, perkembangan yang lebih sederhana di kisaran 14% adalah umum.

Tabel 3. Efek Biochar Terhadap Hasil Pertanian

Tanaman	Lahan	Tipe Tanah	Lokasi	Biochar	Dosis Aplikasi	Efek	Ref.
Kedelai	-	Ferrosol & Calcereosol	Australia	Limbah kertas cacah	10 t/ha	225%	Van Zwieten et al. (2010)
Padi	Sawah	-	China	-	10 & 40 t/ha	14%	Zhang et al., (2010)
Jagung	Pot	Ultisol	China	Jerami padi	1% ± NPK	146%	Peng et al., (2011)
Jagung	Pot	Ultisol	China	Jerami padi	1%	64%	Peng et al., (2011)
Lobak	Pot	Alfisol	Australia	Sampah hijau	10 – 100 t/ha	280%	Chan et al., (2007)
Padi	Sawah	Inseptisol	Indonesia	Tempurung kelapa	15 t/ha	+2 t/ha	Herlambang et al., (2019)

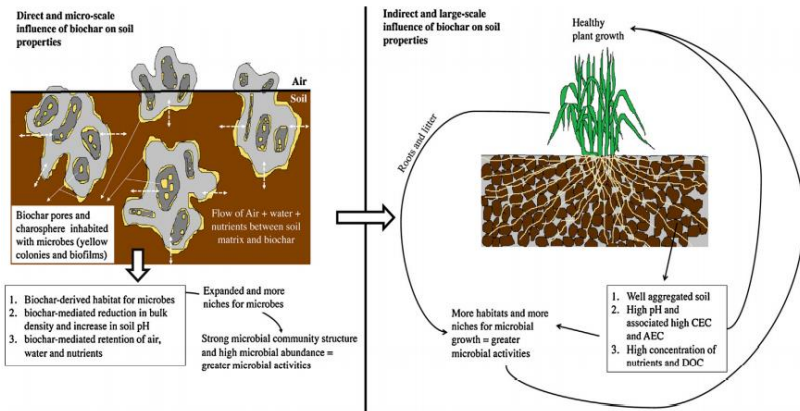
Bagaimana cara biochar meningkatkan hasil panen?, hal ini dijelaskan oleh Shareef & Zhao (2017), peningkatan hasil panen dengan menggunakan biochar melalui mekanisme berikut ini:

1. Peningkatan pH, pH biochar umumnya tinggi (>9). Sifat ini bermanfaat di tanah jika pH lebih rendah dari kondisi optimal untuk penggunaan pertanian yang dimaksudkan.
2. Penambahan nutrisi secara langsung. Abu dalam biochar menyumbang beberapa nutrisi ke tanah, tetapi dalam jangka waktu yang pendek.
3. Retensi atau penyimpanan zat nutrisi (unsur hara). Dengan berlalunya waktu, permukaan biochar meningkatkan kemampuan untuk mempertahankan nutrisi di dalam tanah. Sifat ini meru-

pakan keuntungan jangka panjang biochar dan membedakannya dari bahan biologis lain di dalam tanah, yang juga membantu mempertahankan nutrisi tetapi relatif cepat terurai.

4. Potensi perbaikan sifat fisik tanah. Biochar memiliki densitas yang sangat rendah & porositas yang tinggi.
5. Biochar dapat memberikan situasi yang cocok untuk mikroba tanah yang menguntungkan, misalnya *Rhizobia*-fiksasi N dan jamur Mikoriza.

Biochar mempromosikan pembentukan dan stabilitas agregat tanah, sehingga dapat meningkatkan produksi tanaman dan mencegah degradasi tanah. Biochar dapat memperbaiki pemadatan tanah lebih dari 10%, menurunkan bulk density, dan meningkatkan porositas. Secara keseluruhan, peningkatan sifat fisik tanah, seperti kerapatan curah, kapasitas menahan air, dan kemampuan agregasi, dapat meningkatkan retensi air dan nutrisi, yang bermanfaat bagi kesuburan tanah secara langsung (Ding et al., 2016). Peningkatan agregasi tanah ini berbanding linier dengan peningkatan *soil organic matter* (SOM = kandungan senyawa organik dalam tanah) dan biomassa mikroba sebagai respons terhadap amandemen. Gambar 13 memberikan gambaran konseptual yang mengilustrasikan pengaruh biochar baik secara langsung maupun tidak langsung pada aktivitas mikroba dengan mengubah sifat tanah dan menyediakan lebih banyak habitat untuk mikroba.



Gambar 13. Model Konseptual Ilustrasi Pengaruh Biochar terhadap Aktivitas Mikroba Di Dalam Tanah (Gul et al., 2015)

Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 13, permukaan dan pori-pori biochar menyediakan habitat bagi mikroorganisme dan secara bersamaan meningkatkan kerapatan curah, pH dan pergerakan udara, air dan nutrisi dalam matriks tanah. Perubahan sifat fisiko-kimia tanah ini membantu meningkatkan kelimpahan dan aktivitas mikroba dengan menyediakan ruang dan lingkungan yang mengandung banyak relung yang beragam dan luas. Pengaruh tidak langsung dari biochar adalah adanya aktivitas mikroorganisme berdampak pada peningkatan pertumbuhan tanaman. Pertumbuhan mikroba terjadi pada pori-pori biochar menyebabkan peningkatan kelembaban, udara dan waktu tinggal nutrisi, sehingga meningkatkan pertumbuhan, kelangsungan hidup dan aktivitas mikroba yang berkontribusi terhadap pertumbuhan tanaman (Gul et al., 2015).

4.3. Mitigasi Lingkungan Akibat Kegiatan Pertanian

Perubahan iklim telah meningkatkan perhatian dalam meminimalkan emisi CO₂ ke atmosfer. Tanah memainkan peran penting dalam siklus karbon yang secara langsung mempengaruhi perubahan iklim. Pertanian melepaskan sejumlah besar gas rumah

kaca (GRK) ke atmosfer, hal ini meningkatkan kekhawatiran pemanasan global di seluruh dunia. GRK dalam urutan menurun, berupa: karbon dioksida atmosfer (CO_2), metana (CH_4), dan dinitrogen oksida (N_2O). Menurut laporan ICCP (2014) pertanian menyumbang sekitar 24% dari total sumber GRK antropogenik global pada tahun 2010 dan menyumbang 52 dan 84% dari total emisi metana dan dinitrogen oksida antropogenik global. Pengaruh penggabungan biochar ke dalam siklus C tanah dan emisi CO_2 , CH_4 , dan N_2O sejauh ini tidak konsisten dan mungkin positif atau negatif, tergantung pada jenis biochar dan sifat tanah. Karbon dioksida dilepaskan terutama dari pembusukan mikroba atau pembakaran sampah pertanian dan bahan organik tanah. Pertumbuhan vegetasi adalah proses alami penyerapan CO_2 atmosfer yang sangat efisien melalui fotosintesis. Namun, efisiensi proses ini dalam penyerapan C jangka panjang sangat terbatas karena sebagian besar C yang ditangkap tidak stabil, kembali ke atmosfer sebagai CO_2 dalam waktu singkat, dalam beberapa bulan hingga tahun, melalui proses dekomposisi dan respirasi. Oleh karena itu, untuk meningkatkan penyerapan C dalam jangka panjang, biomassa perlu dipirolisis menjadi bentuk karbon yang relatif lebih stabil, seperti biochar. Efektivitas aplikasi biochar untuk mengurangi perubahan iklim tergantung pada ketahanan relatifnya terhadap aktivitas mikroba, namun demikian pengembalian karbon organik terrestrial ke atmosfer sebagai CO_2 tetap lebih lambat dibandingkan proses dekomposisi dan respirasi. Dalam sebuah penelitian menggunakan tanah sawah, aplikasi biochar dari bambu dan jerami padi mampu menurunkan tingkat emisi CO_2 dan CH_4 dari tanah yang diberi perlakuan biochar. Penambahan jerami padi secara signifikan meningkatkan emisi CH_4 dan CO_2 dari tanah sawah. Namun, ketika tanah diberi biochar, emisi CH_4 berkurang. Emisi CH_4 dari tanah sawah yang diberi biochar bambu dan biochar jerami padi berkurang masing-masing sebesar 51,1% dan 91,2%, dibandingkan tanpa biochar. Aktivitas

metanogenik di tanah sawah menurun dengan meningkatnya laju biochar. Emisi CO₂ dari tanah sawah yang tergenang air juga berkurang pada perlakuan biochar. Pengurangan emisi CH₄ dari tanah sawah dengan amandemen biochar dapat disebabkan oleh penghambatan aktivitas metanogenik atau stimulasi aktivitas metilolitik selama masa inkubasi (Liu et al., 2011).

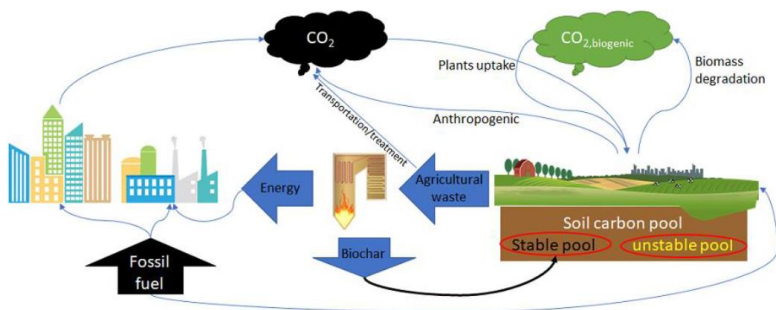
Lebih dari dua pertiga dari emisi global muncul dari proses denitrifikasi dan nitrifikasi di dalam tanah yang menghasilkan GRK N₂O. Peningkatan konsentrasi N₂O di atmosfer juga disebabkan oleh meningkatnya ketergantungan pada pupuk nitrogen (N). Aplikasi biochar pada tanah dapat mengurangi kehilangan N tanah dan emisi N₂O dengan cara mentransfer elektron ke organisme denitrifikasi dan mengikat N. Penerapan biochar pada tanah tenosol dan akrisol dapat meningkatkan pH tanah, sehingga meningkatkan aktivitas enzim reductase N₂ dan mampu menekan emisi N₂O (Van Zwieten et al., 2014).

Pada paragraf sebelumnya, telah diuraikan bagaimana GRK dapat dihasilkan dari kegiatan pertanian dan bagaimana biochar dapat memitigasi emisi GRK, berikut ini adalah kontribusi biochar dalam mitigasi emisi GRK:

- Menghindari terbentuknya emisi dari penggunaan/pembungan biomassa secara konvensional;
- Stabilisasi C dalam biomassa;
- Mencegah emisi N₂O dan CH₄ dari tanah
- Mensubstitusi pupuk secara langsung dan tidak langsung;
- Meningkatkan efisiensi dan hasil pertanian;
- Memulihkan energi dari co-produk dari proses pirolisis. (Lehmann & Joseph, 2012)

Mohammadi et al. (2020) melakukan studi penilaian terhadap siklus hidup lingkungan (*Environmental Life Cycle Assessment = E-LCA*) pada tanaman padi, hasil menunjukkan bahwa biochar memiliki potensi untuk mengurangi jejak karbon dari sistem

pertanian melalui berbagai mekanisme. Faktor yang paling penting adalah stabilisasi karbon dalam biochar dan energi yang dapat diperoleh kembali dari gas pirolisis yang dihasilkan sebagai produk sampingan biochar, serta penurunan kebutuhan pupuk dan peningkatan produktivitas tanaman. Tinjauan kuantitatif studi E-LCA menyimpulkan bahwa jejak karbon beras yang diproduksi di tanah yang diolah dengan biochar diperkirakan berkisar dari 1,43 hingga 2,79 kg CO₂-eq per kg butir beras, hal ini menyiratkan pengurangan yang relative signifikan terhadap beras yang diproduksi tanpa biochar sebagai amandemen tanah. Penekanan emisi metana pada tanah akibat penambahan biochar merupakan proses yang dominan dengan kontribusi negatif 40–70% dalam mitigasi perubahan iklim produksi padi. Tinjauan studi biaya siklus hidup penggunaan biochar sebagai aditif di lahan pertanian menunjukkan bahwa aplikasi biochar dapat menjadi pendekatan yang layak secara ekonomi. Gambar 14 merupakan ilustrasi kontribusi biochar sebagai sumber karbon stabil dan peranannya dalam pengurangan GRK.



Gambar 14. Kontribusi Biochar Terhadap Sumber Karbon Stabil Dalam Tanah Dan Peranannya Dalam Pengurangan Gas Rumah Kaca (Mohammadi et al., 2020)

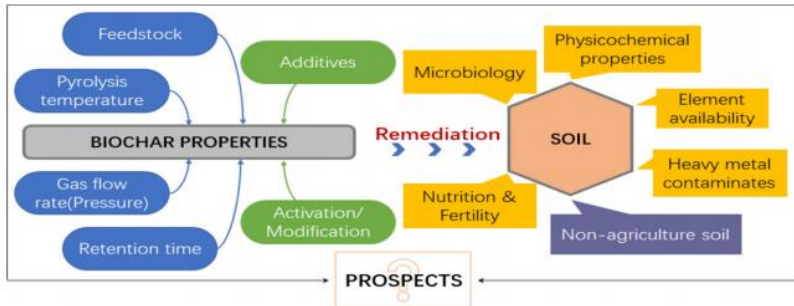


BAB 5

PROSPEK DAN TANTANGAN MASA DEPAN BIOCHAR

5.1. Posppek Masa Depan

Biochar sangat menarik perhatian karena potensinya telah terbukti dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dan kualitas tanah, sekaligus menyerap C dalam tanah dan memberikan keuntungan lingkungan lainnya (Gambar 15).



Gambar 15. Model Potensi Remediasi Tanah dengan Sifat Biochar (Yuan et al., 2019)

Dengan demikian, biochar merupakan alat manajemen kualitas tanah dalam jangka panjang, sekaligus memitigasi perubahan iklim. Jika diproduksi dan diaplikasikan dengan benar, biochar dapat membantu peningkatan kualitas tanah, menurunkan perubahan iklim dan dampak lingkungan lainnya, seperti:

1. Meningkatkan kesuburan tanah & hasil pertanian;
2. Penyerap karbon;
3. Meningkatkan struktur tanah, penetrasi air & aerasi;
4. Mengurangi penggunaan pestisida dan pupuk sintetis;
5. Menjerap polutan organik dan anorganik;
6. Mengurangi emisi metana dari tanah dan nitrogen oksida;
7. Mengurangi pencucian atau pelindian bahan kimia pertanian ke daerah aliran sungai dan senyawa nitrat;
8. Memproduksi bahan bakar terbarukan dari bahan baku biomassa;
9. Mengubah limbah menjadi sumber daya yang berharga;
10. Mengurangi ketergantungan pada minyak impor;

11. Mendukung produksi dan distribusi energi local;
12. Meningkatkan keamanan energi dan rantai pasok makanan masyarakat;
13. Membangun pekerjaan lokal dan siklus ekonomi.

5.2. Tantangan Massa depan

Langkah awal yang harus dilakukan dalam menciptakan pasar biochar di kalangan petani adalah menunjukkan nilai biochar sebagai amandemen tanah dan hasil nyata dari peningkatan produksi pertanian. Untuk mendukung hal tersebut, diperlukan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana biochar akan mempengaruhi berbagai jenis tanah dan tanaman pertanian.

Tantangan ekonomi untuk menerapkan penggunaan biochar dalam skala luas, karena disebagian besar belahan dunia residu pertanian dapat dengan mudah dikumpulkan, kemudian dimanfaatkan untuk memberi makan ternak atau dibakar untuk menghasilkan energi, namun di tempat lain, dibutuhkan biaya pemanenan residu pertanian yang mahal untuk dijadikan produksi biochar.

Dalam beberapa argumen yang dinyatakan oleh para ilmuwan, ditemukan beberapa kelemahan biochar diantaranya:

- Dalam beberapa kasus, hasil produksi menurun karena penyerapan air dan nutrisi oleh biochar, selain itu biochar juga terbukti menghambat perkecambahan.
- Penyerapan pestisida dan herbisida oleh biochar dapat menurunkan efikasinya.
- Beberapa biochar mengandung sumber kontaminan, seperti logam berat, VOC (*Volatile Organic Compounds*), PAHs (*Poly-cyclic Aromatic Hydrocarbons*), dan DOC (*Dissolved Organic Carbon*).
- Pengurangan emisi nitrit oksida tidak universal dan terkadang emisi meningkat.

- Abu halus yang dihasilkan biochar dapat menimbulkan risiko penyakit pernapasan.
- Pembuangan sisa tanaman dalam jangka panjang, seperti batang, daun dan polong, yang akan digunakan untuk produksi biochar dapat mengurangi kesehatan tanah secara keseluruhan dengan mengurangi jumlah mikroorganisme tanah dan mengganggu siklus hara internal.
- Peningkatan kapasitas tukar kation tergantung pada komposisi tanah: minimal di tanah dengan kandungan liat atau bahan organik yang tinggi, terutama pada tingkat penambahan biochar yang realistis.
- ada tanah dengan pH tinggi (basa), peningkatan pH tanah tidak diinginkan karena tanaman hanya mentolerir kisaran pH tanah tertentu. (Six, 2014)

5.3. Analisis Resiko Lingkungan

Dampak negatif, tak berdampak, atau dampak positif dari biochar pada komunitas mikroba tanah tergantung pada jenis biochar dan jenis tanah. Produk pirolisis organik, seperti senyawa-senyawa fenolat dan polifenol, dapat hadir dalam biochar dan keberadaannya berbahaya bagi mikroorganisme tanah. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa mikoriza dan total biomassa mikroba menurun setelah aplikasi biochar. Penurunan kelimpahan dan aktivitas mikroba diduga berhubungan dengan peningkatan retensi zat beracun, seperti logam berat, pestisida, dan pelepasan polutan dari biochar, seperti bio-oil dan hidrokarbon aromatik polisiklik. Beberapa ahli juga melaporkan bahwa biochar dapat bermanfaat bagi mikoriza tetapi juga dapat menghambat pertumbuhan tanaman. Beberapa faktor yang mungkin bertanggung jawab atas efek negatif biochar pada biota tanah, antara lain adanya bahan yang mudah menguap, sifat-sifat biochar dan munculnya unsur garam seperti Cl atau Na. Selain itu, beberapa biochar dapat menimbulkan risiko langsung terhadap biota tanah dan fungsinya (Ding et al., 2016).

5.4. Arah Penelitian Di Masa Depan

Biochar merupakan teknologi potensial yang masih perlu dikembangkan dan diuji kembali tentang aplikasinya baik secara *in-situ* maupun *ex-situ*, khususnya sebagai bahan amandemen tanah. Oleh karena itu arah peneletian di masa depan sebaiknya memuat tentang:

1. Standardisasi proses produksi biochar yang didasarkan pada tujuan aplikasi dan jenis sumber bahan baku biomassa yang digunakan, termasuk seleksi bahan baku dan optimasi kondisi pirolisis atau termokimia lainnya. Jika memungkinkan perlu dilakukan modifikasi teknik produksi dan mengadakan perlakuan sebelum biomassa diolah dan setelah biochar dihasilkan untuk mengembangkan produk biochar yang bersih dan bebas dari material berbahaya dan beracun.
2. Perlu standarisasi produk biochar berdasarkan aplikasinya, sebagai amandemen tanah, energi atau manfaat lainnya. Jika memungkinkan standarisasi produk mempertimbangan kondisi aplikasinya.
3. Pada bentuk aplikasi remediasi secara *ex-situ*, perlu dilakukan penelitian pada sejumlah area yang berbeda, termasuk didalamnya: membandingkan antara sifat fisika-kimia tanah dan biochar sebelum dan sesudah penambahan; mempelajari mekanisme pengikatan dan penjerapan polutan di dalam tanah (seperti logam berat dan metalloid) pada biochar; mengukur karakteristik logam yang berbeda jenisnya dan bioavailabilitas dengan adanya biochar pada skala waktu yang berbeda; melakukan pengujian efek toksik dari biochar terhadap biota tanah dan air hingga kondisi terekstrim (seperti kondisi asam, perendaman dalam air hujan, kondisi sangat kering dan gangguan lainnya yang mungkin muncul saat diaplikasikan); memeriksa respon tumbuhan, fauna dan

mikroorganisme yang teresponse biochar baik di tanah maupun di air.

4. Perlu dibuat rencana skema pelaksanaan dan stabilitas sistem sedimen-biochar-polutan terkait dengan aplikasi biochar secara *in-situ*. Efek biochar terhadap ekosistem perlu dipelajari lebih lanjut, efek biochar terhadap nutrisi dan perputaran karbon, juga perlu dihitung dan diukur laju dan besarnya transfer massa logam pada sedimen, biochar dan air, serta perlu ditentukan teknologi dan metode yang paling tepat untuk menentukan bagaimana melakukan remediasi pada sedimen dan tanaman yang berbeda-beda.
5. Perlu dilakukan penelitian dan simulasi terhadap efek biochar terhadap tanah, tanaman dan lingkungan pada lahan aktual dengan jangka waktu yang lama.
6. Dikatakan bahwa biochar merupakan material yang memiliki stabilitas yang lama, namun hal tersebut perlu diteliti lebih lanjut termasuk bagaimana pengaruh waktu penuaan biochar dan pembentukan hambatan pori pada biochar yang disebabkan oleh material biotik maupun abiotik disekitarnya, serta berapa lama biochar dapat bertahan dan bagaimana cara mencegah dan mengatasi pembentukan hambatan pada pori.
7. Perlu analisis yang mendalam mengenai resiko yang mungkin dapat ditimbulkan dari proses dan produk biochar bagi lingkungan (termasuk manusia, hewan, tumbuhan), karena dalam produknya dihasilkan abu yang mungkin dapat berimbas pada manusia.



BAB 6

PENUTUP

BAB VI. PENUTUP

Aplikasi biochar ke dalam tanah memiliki potensi besar untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mendorong pertumbuhan tanaman. Pemilihan biochar untuk mengelola berbagai tanah bersifat fleksibel, karena ketersediaan bahan baku biomassa sangat beragam, demikian pula dengan teknik pirolisis atau termokimia yang ada. Selain itu, biochar memiliki karakteristik luas permukaan yang besar, struktur pori yang baik, sejumlah kation yang dapat dipertukarkan dan beragam unsur hara, serta pH tinggi. Dengan sifat ini, maka sifat-sifat tanah dapat diperbaiki setelah diberi perlakuan biochar. Sebagai contohnya, luas permukaan yang besar dan struktur pori yang terbentuk dengan baik dapat meningkatkan kapasitas menahan air dan kelimpahan mikroba yang menguntungkan. Kapasitas tukar kation dan ketersediaan unsur hara tanah dapat ditingkatkan, karena biochar memiliki kation dan unsur hara yang dapat ditukar. Sselain itu, peningkatan pH tanah dan pertukaran ion juga dikaitkan dengan tingginya pH biochar. Dengan demikian, perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah ini dapat meningkatkan produktivitas tanaman melalui peningkatan jumlah unsur hara, meningkatkan ketersediaan unsur hara, mengurangi pencucian hara, dan mengurangi kehilangan hara, serta memberikan kondisi yang optimal bagi mikroba menguntungkan.

Biochar dapat diaplikasikan sebagai bahan amandemen tanah dan aditif pupuk kandang/kompos. Biochar dapat menjadi penyedia nutrisi baik secara langsung maupun tidak langsung bagi tanaman. Hal ini bukan hanya dikarenakan nutrisi yang terkandung dalam biochar tetapi juga kemampuan biochar dalam menyerap nutrisi disekitarnya. Biochar memiliki peran positif bagi lingkungan, karena mengurangi limbah pertanian dan mengurangi emisi GRK, serta secara ekonomi menguntungkan, karena tidak membutuhkan biaya mahal untuk produksinya. Meskipun ketertarikan terhadap penggunaan biochar untuk amandemen tanah semakin meningkat, namun beberapa

penelitian melaporkan efek negatif dan perbedaan hasil penelitian yang mengakibatkan ketidakpastian penggunaan biochar. Untuk menghilangkan ketidakpastian dan perbedaan hasil penelitian ini, penyelidikan lebih lanjut yang relevan perlu dipertajam dalam penelitian berikutnya, terutama eksperimen jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim (2014). *AR5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Ahmad, M., Lee, S. S., Lim, J. E., Lee, S. E., Cho, J. S., Moon, D. H., Hashimoto, Y., & Ok, Y. S. (2014). Speciation and phytoavailability of lead and antimony in a small arms range soil amended with mussel shell, cow bone and biochar: EXAFS spectroscopy and chemical extractions. *Chemosphere*, *95*, 433–441. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.077>
- Bartoli, M., Giorcelli, M., Jagdale, P., Rovere, M., & Tagliaferro, A. (2020). A review of non-soil biochar applications. *Materials*, *13*(2), 1–35. <https://doi.org/10.3390/ma13020261>
- Bergman, P. C. A., Boersma, A. R., Zwart, R. W. R., & Kiel, J. H. A. (2005). *Torrefaction for biomass co-firing in existing coal-fired power stations*. Energy Centre of Netherlands, Report No. ECN-C-05-013. July. www.senternovem.nl.
- Brewer, C. E., Chuang, V. J., Masiello, C. A., Gonnermann, H., Gao, X., Dugan, B., Driver, L. E., Panzacchi, P., Zygourakis, K., & Davies, C. A. (2014). New approaches to measuring biochar density and porosity. *Biomass and Bioenergy*, *66*, 176–185. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.03.059>
- Brewer, C. E., & Levine, J. (2015). *Weight or Volume for Handling Biochar and Biomass?* The Biochar Journal. <https://www.biochar-journal.org/en/ct/71>
- Briggs, C., Breiner, J. M., & Graham, R. C. (2012). Physical and chemical properties of *Pinus ponderosa* charcoal: Implications for soil modification. *Soil Science*, *177*(4), 263–268. <https://doi.org/10.1097/SS.0b013e3182482784>
- Cantrell, K. B., Hunt, P. G., Uchimiya, M., Novak, J. M., & Ro, K. S. (2012). Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar. *Bioresource*

Technology, 107, 419–428.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.084>

Carrier, M., Hardie, A. G., Uras, Ü., Görgens, J., & Knoetze, J. (2012). Production of char from vacuum pyrolysis of South-African sugar cane bagasse and its characterization as activated carbon and biochar. *Journal* 96, 24–32.

<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2012.02.016>

Cely, P., Gasco, G., Paz-Ferreiro, J., & Méndez, A. (2015). Agronomic properties of biochars from different manure wastes. *J Anal Appl Pyrol*, 111, 173–182.

Chan, K. Y. A., B, L. V. Z., Meszaros, I. A., Downie, A. C., & Joseph, S. D. (2008). *Australian Journal Of Soil Research*, 46(2003), 437–444.

Chan, K. Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., & Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian Journal of Soil Research*, 45(8), 629–634. <https://doi.org/10.1071/SR07109>

Ding, Y., Liu, Y., Liu, S., Li, Z., Tan, X., Huang, X., Zeng, G., Zhou, L., & Zheng, B. (2016). Biochar to improve soil fertility. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2). <https://doi.org/10.1007/s13593-016-0372-z>

Downie, A., Munroe, P., & Crosky, A. (2009). Physical Properties of Biochar. In *Biochar for Environmental Management - Science and Technolog.*

Funke, A., & Ziegler, F. (2010). Hydrothermal carbonization of biomass: A summary and discussion of chemical mechanisms for process engineering. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 4(2), 160–177. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/bbb.198>

Gai, X., Wang, H., Liu, J., Zhai, L., Liu, S., Ren, T., & Liu, H. (2014). Effects of feedstock and pyrolysis temperature on biochar adsorption of ammonium and nitrate. *PLoS ONE*, 9(12), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0113888>

- Gul, S., Whalen, J. K., Thomas, B. W., Sachdeva, V., & Deng, H. (2015). Physico-chemical properties and microbial responses in biochar-amended soils: Mechanisms and future directions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 206, 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.03.015>
- Gwenzi, W., Chaukura, N., Mukome, F. N. D., Machado, S., & Nyamasoka, B. (2015). Biochar production and applications in sub-Saharan Africa: Opportunities, constraints, risks and uncertainties. *Journal of Environmental Management*, 150, 250–261. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.11.027>
- Herlambang, S., Purwono Budi S, A. Z., Sutiono, H. T., & Rina, S. N. (2019). Application of coconut biochar and organic materials to improve soil environmental. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 347(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/347/1/012055>
- Huang, J., Liu, C., Tong, H., Li, W., & Wu, D. (2012). Theoretical studies on pyrolysis mechanism of xylopyranose. *Computational and Theoretical Chemistry*, 1001, 44–50. <https://doi.org/10.1016/j.comptc.2012.10.015>
- International Biochar Initiative. (2015). Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar That Is Used in Soil. *International Biochar Initiative*, November, 23. http://www.biochar-international.org/sites/default/files/Guidelines_for_Biochar_That_Is_Used_in_Soil_Final.pdf
- Ippolito, J. A., Cui, L., Kammann, C., Wrage-Mönnig, N., Estavillo, J. M., Fuertes-Mendizabal, T., Cayuela, M. L., Sigua, G., Novak, J., Spokas, K., & Borchard, N. (2020). Feedstock choice, pyrolysis temperature and type influence biochar characteristics: a comprehensive meta-data analysis review. *Biochar*, 2(4), 421–438. <https://doi.org/10.1007/s42773-020-00067-x>

- Ippolito, J. A., Spokas, K. A., Novak, J. M., Lentz, R. D., & Cantrell, K. B. (2015). Biochar elemental composition and factors influencing nutrient retention. *Biochar for Environmental Management*, 171–196.
<https://doi.org/10.4324/9780203762264-14>
- Irsyad, A. R., Prawisudha, P., & Darmawan, A. (2014). Kaji Eksperimental Produksi Bahan Bakar Padat Ramah Lingkungan dari Tandan Kosong Kelapa Sawit Menggunakan Proses Hidrotermal. In *Proceeding* (Issue Snttm Xiii, pp. 15–16).
- Iskandar, T., & Rofiatin, U. (2017). Karakteristik Biochar Berdasarkan Jenis Biomassa Dan Parameter Proses Pyrolysis. *Jurnal Teknik Kimia*, 12(1), 28–34.
<https://doi.org/10.33005/tekkim.v12i1.843>
- Islam, M. N., Ali, M. H., & Ahmad, I. (2017). Fixed bed slow pyrolysis of biomass solid waste for bio-char. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 206(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/206/1/012014>
- Jain, A., Balasubramanian, R., & Srinivasan, M. P. (2016). Hydrothermal conversion of biomass waste to activated carbon with high porosity: A review. *Chemical Engineering Journal*, 283, 789–805. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2015.08.014>
- Kalus, K., Koziel, J. A., & Opaliński, S. (2019). A review of biochar properties and their utilization in crop agriculture and livestock production. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(17).
<https://doi.org/10.3390/app9173494>
- Klinghoffer, N. B., Castaldi, M. J., & Nzihou, A. (2015). Influence of char composition and inorganics on catalytic activity of char from biomass gasification. *Fuel*, 157(April), 37–47.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2015.04.036>
- Lee, Y., Eum, P. R. B., Ryu, C., Park, Y. K., Jung, J. H., & Hyun, S. (2013). Characteristics of biochar produced from slow pyrolysis of Geodae-Uksae 1. *Bioresource Technology*, 130, 345–350.

- <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.012>
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2012). Biochar for Environmental Management. In *Biochar for Environmental Management*.
- Limousy, L., Jeguirim, M., & Labaki, M. (2017). Energy applications of coffee processing by-products. In *Handbook of Coffee Processing By-Products: Sustainable Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811290-8.00011-6>
- Liu, W. J., Jiang, H., & Yu, H. Q. (2015). Development of Biochar-Based Functional Materials: Toward a Sustainable Platform Carbon Material. *Chemical Reviews*, *115*(22), 12251–12285. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00195>
- Liu, Y., Yang, M., Wu, Y., Wang, H., Chen, Y., & Wu, W. (2011). Reducing CH₄ and CO₂ emissions from waterlogged paddy soil with biochar. *Journal of Soils and Sediments*, *11*(6), 930–939. <https://doi.org/10.1007/s11368-011-0376-x>
- Liu, Z., Dugan, B., Masiello, C. A., & Gonnermann, H. M. (2017). Biochar particle size, shape, and porosity act together to influence soil water properties. *PLoS ONE*, *12*(6), 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179079>
- Mohammadi, A., Khoshnevisan, B., Venkatesh, G., & Eskandari, S. (2020). A Critical Review on Advancement and Challenges. *Processes*, *8*(1275), 21.
- Nunoura, T., Wade, S. R., Bourke, J. P., & Antal, M. J. (2006). Studies of the flash carbonization process. 1. Propagation of the flaming pyrolysis reaction and performance of a catalytic afterburner. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, *45*(2), 585–599. <https://doi.org/10.1021/ie050854y>
- Peake, L. R., Reid, B. J., & Tang, X. (2014). Quantifying the influence of biochar on the physical and hydrological properties of dissimilar soils. *Geoderma*, *235–236*, 182–190. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.07.002>
- Peng, X., Ye, L. L., Wang, C. H., Zhou, H., & Sun, B. (2011).

- Temperature- and duration-dependent rice straw-derived biochar: Characteristics and its effects on soil properties of an Ultisol in southern China. *Soil and Tillage Research*, 112(2), 159–166. <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.01.002>
- Putri, V. I. P., Mukhlis, & Hidayat, B. (2017). Pemberian beberapa jenis biochar untuk memperbaiki sifat kimia tanah ultisol dan pertumbuhan tanaman jagung. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*, 107(Oktober), 824–828.
- Safaei Khorram, M., Zhang, Q., Lin, D., Zheng, Y., Fang, H., & Yu, Y. (2016). Biochar: A review of its impact on pesticide behavior in soil environments and its potential applications. *Journal of Environmental Sciences (China)*, 44, 269–279. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.12.027>
- Schahczenski, J. (2010). Biochar and Sustainable. *A Publication of ATTRA—National Sustainable Agriculture Information Service*, 1–12.
- Shaaban, A., Se, S. M., Mitan, N. M. M., & Dimin, M. F. (2013). Characterization of biochar derived from rubber wood sawdust through slow pyrolysis on surface porosities and functional groups. *Procedia Engineering*, 68, 365–371. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.12.193>
- Shareef, T. M. E., & Zhao, B. (2017). Review Paper: The Fundamentals of Biochar as a Soil Amendment Tool and Management in Agriculture Scope: An Overview for Farmers and Gardeners. *Journal of Agricultural Chemistry and Environment*, 06(01), 38–61. <https://doi.org/10.4236/jacen.2017.61003>
- Six, J. (2014). *Biochar: is there a dark side?* News & Events. <https://ethz.ch/en/news-and-events/eth-news/news/2014/04/biochar-is-there-a-dark-side.html>
- Soekamto, M. H. (2015). Kajian Status Kesuburan Tanah Di Lahan Kakao Kampung Klain Distrik Mayamuk Kabupaten Sorong.

Jurnal Agroforestri, *x*(3), 201–208.

- Sohi, S. P., Krull, E., Lopez-Capel, E., & Bol, R. (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Advances in Agronomy*, *105*(1), 47–82. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(10\)050029](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(10)050029)
- Tag, A. T., Duman, G., Ucar, S., & Yanik, J. (2016). Effects of feedstock type and pyrolysis temperature on potential applications of biochar. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *120*, 200–206.
<https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.05.006>
- Van Zwieten, L., Kimber, S., Morris, S., Chan, K. Y., Downie, A., Rust, J., Joseph, S., & Cowie, A. (2010). Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant and Soil*, *327*(1), 235–246.
<https://doi.org/10.1007/s11104-009-0050-x>
- Van Zwieten, L., Singh, B. P., Kimber, S. W. L., Murphy, D. V., Macdonald, L. M., Rust, J., & Morris, S. (2014). An incubation study investigating the mechanisms that impact N₂O flux from soil following biochar application. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, *191*, 53–62.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.02.030>
- Wang, M., Zhu, Y., Cheng, L., Anderson, B., Zhao, X., Wang, D., & Ding, A. (2018). Review on utilization of biochar for metal-contaminated soil and sediment remediation. *Journal of Environmental Sciences (China)*, *63*, 156–173.
<https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.08.004>
- Wang, Y., Yin, R., & Liu, R. (2014). Characterization of biochar from fast pyrolysis and its effect on chemical properties of the tea garden soil. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, *110*(1), 375–381. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2014.10.006>
- Weber, K., & Quicker, P. (2018). Properties of biochar. *Fuel*, *217*(January), 240–261.
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.12.054>

- Wei, J., Tu, C., Yuan, G., Liu, Y., Bi, D., Xiao, L., Lu, J., Theng, B. K. G., Wang, H., Zhang, L., & Zhang, X. (2019). Assessing the effect of pyrolysis temperature on the molecular properties and copper sorption capacity of a halophyte biochar. *Environmental Pollution*, 251, 56–65.
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.04.128>
- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Varjani, S., & Saravanan, A. (2020). A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy. *Biotechnology Reports*, 28, e00570.
<https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00570>
- Yang, F., LEE, X. qing, & Wang, B. (2015). Characterization of biochars produced from seven biomasses grown in three different climate zones. *Chinese Journal of Geochemistry*, 34(4), 592–600. <https://doi.org/10.1007/s11631-015-0072-4>
- You, S., Ok, Y. S., Tsang, D. C. W., Kwon, E. E., & Wang, C. H. (2018). Towards practical application of gasification: a critical review from syngas and biochar perspectives. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 48(22–24), 1165–1213. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1518860>
- Yu, K. L., Lau, B. F., Show, P. L., Ong, H. C., Ling, T. C., Chen, W. H., Ng, E. P., & Chang, J. S. (2017). Recent developments on algal biochar production and characterization. *Bioresource Technology*, 246, 2–11.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.009>
- Yu, O.-Y., Raichle, B., & Sink, S. (2013). Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4:44, 1–9.
- Yuan, P., Wang, J., Pan, Y., Shen, B., & Wu, C. (2019). Review of biochar for the management of contaminated soil: Preparation, application and prospect. *Science of the Total Environment*, 659, 473–490. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.400>

- Zaman, C. Z., Pal, K., Yehye, W. A., Sagadevan, S., Shah, S. T., Adebisi, G. A., Marlina, E., Rafique, R. F., & Johan, R. Bin. (2017). Pyrolysis: A Sustainable Way to Generate Energy from Waste. *Pyrolysis*, 3–36.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.69036>
- Zhang, A., Cui, L., Pan, G., Li, L., Hussain, Q., Zhang, X., Zheng, J., & Crowley, D. (2010). Effect of biochar amendment on yield and methane and nitrous oxide emissions from a rice paddy from Tai Lake plain, China. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 139(4), 469–475.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.09.003>
- Zhu, Q. H., Peng, X. H., Huang, T. Q., Xie, Z. Bin, & Holden, N. M. (2014). Effect of Biochar Addition on Maize Growth and Nitrogen Use Efficiency in Acidic Red Soils. *Pedosphere*, 24(6), 699–708.
[https://doi.org/10.1016/S10020160\(14\)60057-6](https://doi.org/10.1016/S10020160(14)60057-6)

TENTANG PENULIS



Susila Herlambang menyelesaikan Pendidikan S1 Ilmu Tanah di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta pada tahun 1989. Kemudian beliau studi S2 di IPB Bogor selama 2 tahun dapat diselesaikan dengan memperoleh gelar master pada tahun 1999 pada bidang Ilmu Tanah. Sedangkan gelar doktor dapat diselesaikan dalam waktu 3 tahun pada tahun 2014 pada bidang Ilmu tanah di UGM Yogyakarta. Beliau menjadi dosen di UPN

“Veteran” Yogyakarta sejak tahun 1992 dan memiliki banyak karya seperti jurnal ilmiah terindek scopus, journal nasional bereputasi, prosiding, paten alat pembuatan biochar, dan buku yang sudah dipublikasikan baik di tingkat nasional serta karya-karya lain di internasional. Sertifikasi kompetensi dalam bidang organik juga diperoleh pada tahun 2019. Beliau aktive dalam organisasi profesi keilmuan dan mempunyai slogan manjada wajadha barang siapa yang sungguh-sungguh maka akan memperoleh hasil kesungguhanya.



Muammar Gomareuzzaman menyelesaikan Pendidikan S1 Geografi Universitas Gadjah Mada Yogyakarta pada tahun 2009 dan menyelesaikan S2 Perencanaan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai di universitas yang sama pada tahun 2013. Bergabung menjadi Dosen Jurusan Teknik Lingkungan UPN "Veteran" Yogyakarta Tahun 2014. Beberapa kegiatan yang pernah diikutinya adalah seminar nasional dan internasional, HKI, menulis jurnal dan buku untuk

menunjang proses pengajarnya.



Danang Yudhiantoro. Dosen Manajemen UPN "Veteran" Yogyakarta sejak 1998, menyelesaikan S2 di Magister Sains Manajemen UGM Yogyakarta. Saat ini sebagai Kepala UPT. Pengembangan Karir dan Kewirausahaan UPN "Veteran" Yogyakarta. Aktif Sebagai Praktisi Bisnis dan Konsultan Manajemen serta Aktif melakukan Penelitian dan Pengabdian Masyarakat baik Internal maupun Eksternal. Selain itu Aktif mengikuti kegiatan organisasi maupun

Asosiasi Manajemen serta kewirausahaan baik dalam maupun luar negeri.



Indriana Lestari menyelesaikan Pendidikan S1 Teknik Kimia di Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Yogyakarta pada tahun 2007 dan menyelesaikan S2 Teknik Kimia di Universitas Indonesia pada tahun 2016. Bergabung menjadi Dosen Jurusan Teknik Kimia UPN ”Veteran” Yogyakarta Tahun 2019. Beberapa kegiatan yang pernah diikutinya adalah seminar nasional, HKI, menulis jurnal dan buku untuk menunjang proses mengajarnya.

Biochar merupakan salah satu bahan yang diperoleh dengan pembakaran bahan menjadi arang berpori diperoleh dengan cara pirolisis untuk dipergunakan sebagai bahan ameliorasi tanah. Pemberian bahan ameliorasi tersebut bertujuan untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah. Biochar merupakan bahan bersubstansi dari arang kayu yang berpori, hasil sisa pembakaran tidak sempurna yang mengandung karbon (C) tinggi. Bahan baku biochar dapat berupa tempurung kelapa sawit, bongol pohon sawit, potongan kayu, tempurung kelapa, tongkol jagung, sekam padi atau kulit buah kacang-kacangan dll.. Sebagai pembenah tanah atau amandemen tanah, biochar dapat digunakan untuk mengikat air dan unsur hara, serta meningkatkan aktivitas biota didalam tanah. Upaya mitigasi lingkungan, biochar mampu mengurangi resiko perubahan iklim, karena biochar dapat meningkatkan serapan CH₄ dan mengurangi mineralisasi bahan organik menjadi CO₂, karena biochar tidak mengalami pelapukan lebih lanjut, sehingga cenderung stabil dalam tanah hingga puluhan tahun. Karbon dalam tanah berpengaruh terhadap tingkat kesuburan dan kualitas tanah untuk menyediakan unsur hara bagi tanaman. Sumber karbon Berasal dari biomassa tanaman yang telah terproses menjadi biochar dengan pembakaran secara pirolisis (*minim oksigen*). Fungsi biochar dalam tanah merupakan bahan pembenah tanah untuk menyediakan nutrisi sehingga dapat meningkatkan kesuburan tanah yaitu memperbaiki kapasitas tukar kation (KPK) dan kecukupan dalam ketersediaan hara tanah . Jumlah karbon tanah dapat didukung bahan dari luar (amelioran) berupa biochar dalam meningkatkan penyerapan C dan kualitas tanah pada tanah dengan mineral lempung. Residu yang mengandung bahan karbon merupakan bahan yang kaya jaringan kayu, kualitas bahan ditentukan oleh kandungan C tanah yang dapat menjerap sementara unsur hara tanah sehingga tersedia bagi tanaman.

ISBN 978-623-5539-27-0



9 786235 539270