



BIOCHAR

Kunci Sistem Produksi Jagung Berbasis Karbon Di Lahan Kering

Sukmawati | Bahrudin | Harsani
Sri Nur Qadri | Syamsiar Zamzam

BIOCHAR

Kunci Sistem Produksi Jagung Berbasis Karbon Di Lahan Kering

Buku "Biochar: Kunci Sistem Produksi Jagung Berbasis Karbon di Lahan Kering" membahas Sistem pertanian karbon pada budidaya jagung di lahan kering, sebagai pendekatan pertanian yang bertujuan untuk mengurangi emisi karbon ke atmosfer dan meningkatkan penyerapan karbon di tanah, sambil mempertahankan produktivitas tanaman jagung. Buku ini membahas tentang peran karbon tanah dalam budidaya jagung ditinjau dari mitigasi perubahan iklim, kesuburan tanah, kapasitas penyimpan air, ketahanan terhadap kekeringan dan pengurangan erosi tanah. Selain itu, buku ini juga membahas tentang evaluasi potensi biomassa jagung sebagai sumber karbon yang dikaji dari segi biomassa jagung dan potensi karbonnya, pemanfaatan limbah dan metode pengelolaan limbah. Selanjutnya buku ini membahas pemanfaatan biochar pada budidaya jagung berdasarkan konsep dan manfaat serta potensi biochar sebagai offset karbon. Buku ini juga dilengkapi dengan pembahasan tentang teknologi produksi dan pemilihan biochar yang sesuai standar untuk offset karbon baik segi produksi maupun karakteristik biochar untuk budidaya jagung. Kemudian buku ini membahas tentang manfaat dan keuntungan penggunaan biochar dari sisi peningkatan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman, reduksi ketergantungan pupuk kimia serta pengurangan emisi GRK dan Offset karbon. Buku ini juga membahas tentang penerapan biochar sebagai pembenah tanah, pupuk organik, penghambat pemanasan global dan pengikat air. Untuk melengkapi kelayakan biochar sebagai offset karbon, maka dibahas nilai ekonomi sistem produksi jagung berbasis offset karbon, dilengkapi dengan studi kasus dan contoh implementasi penerapan biochar di lahan pertanian baik di Indonesia maupun di luar negeri. Berdasarkan berbagai kajian tersebut, maka dibahas tentang tantangan dan strategi implementasi biochar. Buku ini ditujukan untuk menjadi referensi bagi petani, peneliti, dan profesional di bidang pertanian yang ingin meningkatkan produktivitas tanaman jagung di lahan kering dengan menggunakan biochar sebagai bahan pembenah tanah untuk meningkatkan stok karbon tanah juga sebagai offset karbon yang dapat diperjualbelikan dalam pasar karbon.

BIOCHAR: KUNCI SISTEM PRODUKSI JAGUNG BERBASIS KARBON DI LAHAN KERING

**Sukmawati
Bahruddin
Harsani
Sri Nur Qadri
Syamsiar Zamzam**



PENERBIT CV. EUREKA MEDIA AKSARA

BIOCHAR: KUNCI SISTEM PRODUKSI JAGUNG BERBASIS KARBON DI LAHAN KERING

Penulis : Sukmawati
Bahrudin
Harsani
Sri Nur Qadri
Syamsiar Zamzam

Desain Sampul : Ardyan Arya Hayuwaskita

Tata Letak : Isnaeni Etik Martiqoh

ISBN : 978-623-120-895-8

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, JUNI 2024**
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH
NO. 225/JTE/2021

Redaksi:

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992

Surel : eurekamediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2024

All right reserved

Hak Cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah, Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ini. Tak lupa juga mengucapkan salawat serta salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW, karena berkat beliau, kita mampu keluar dari kegelapan menuju jalan yang lebih terang. Kami ucapkan juga rasa terima kasih kami kepada pihak-pihak yang mendukung lancarnya buku ini. Buku ini diperkaya oleh berbagai tinjauan literatur yang selaras dengan materi tulisan dalam buku ini.

Buku ini berjudul “Biochar: Kunci Sistem Produksi Jagung Berbasis Karbon di Lahan Kering. Buku ini terdiri dari 10 bab yang mengulas secara holistik sistem produksi jagung berbasis karbon, yang terdiri dari : Bab I Pendahuluan; Bab II Peran karbon dalam budidaya jagung; Bab III Evaluasi potensi biomassa jagung sebagai sumber karbon; Bab IV Pemanfaatan biochar dalam budidaya jagung; Bab V Teknologi produksi dan pemilihan biochar; Bab VI Manfaat dan Keuntungan penggunaan biochar; Bab VII Penerapan biochar dalam budidaya jagung; Bab VIII Nilai ekonomi Sistem produksi jagung berbasis karbon; Bab IX Sudi kasus dan contoh implementasi; Bab X Tantangan dan startegi implementasi biochar berbasis offset karbon.

Dengan demikian, buku ini diharapkan dapat menjadi referensi yang sangat berguna bagi para peneliti, mahasiswa, dan praktisi pertanian yang ingin mengembangkan sistem produksi jagung berbasis karbon.

Parepare, April 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iii
DAFTAR ISI.....	iv
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR.....	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Sistem Produksi Jagung Berbasis Konservasi Karbon	1
B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Peningkatan Produksi Jagung	2
C. Pertanian Karbon dan Offset Karbon dalam Budidaya Jagung	6
D. Sistem Konservasi dalam Budidaya Jagung	10
BAB 2 PERAN KARBON TANAH DALAM BUDIDAYA JAGUNG	12
A. Mitigasi Perubahan Iklim	13
B. Kesuburan Tanah	14
C. Kapasitas Penyimpanan Air	15
D. Ketahanan Terhadap Kekeringan	16
E. Pengurangan Erosi Tanah.....	18
BAB 3 EVALUASI POTENSI BIOMASSA JAGUNG SEBAGAI SUMBER KARBON.....	19
A. Potensi Biomassa	19
B. Potensi Karbon Biomassa Jagung	21
C. Pemanfaatan Limbah Jagung sebagai Bahan Organik.....	22
D. Metode Pengelolaan Limbah Jagung untuk Stok Karbon Tanah	23
BAB 4 PEMANFAATAN BIOCHAR PADA BUDIDAYA JAGUNG	28
A. Konsep Biochar	28
B. Manfaat dan Potensi Penggunaan Biochar untuk Offset Karbon.....	35

BAB 5 TEKNOLOGI PRODUKSI DAN PEMILIHAN	
BIOCHAR.....	38
A. Proses Pembuatan Biochar	38
B. Kriteria Pemilihan Biochar yang Tepat untuk Budidaya Jagung.....	40
BAB 6 MANFAAT DAN KEUNTUNGAN PENGGUNAAN	
BIOCHAR.....	50
A. Peningkatan Kesuburan Tanah dan Produktivitas Tanaman	50
B. Reduksi Ketergantungan pada Pupuk Kimia	51
C. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dan Offset Karbon.....	52
BAB 7 PENERAPAN BIOCHAR PADA BUDIDAYA	
JAGUNG.....	55
A. Penggunaan Biochar sebagai Pembenah Tanah.....	55
B. Penggunaan Biochar sebagai Pupuk Organik.....	56
C. Penggunaan Biochar sebagai Penyerap Air.....	58
D. Penggunaan Biochar sebagai Penghambat Pemanasan Global.....	62
E. Penggunaan Biochar sebagai Bahan Pengikat.....	63
BAB 8 NILAI EKONOMI SISTEM PRODUKSI JAGUNG	
BERBASIS KARBON.....	65
A. Tantangan Ekonomi Pengembangan Jagung Dilahan Kering	65
B. Nilai Ekonomi Produksi Jagung Berbasis Biochar	66
BAB 9 STUDI KASUS DAN CONTOH IMPLEMENTASI.....	72
A. Proyek Percontohan Sistem Produksi Kakao Berbasis Biochar	72
B. Penerapan Biochar Berpolimer Alami pada Usaha Tani Jagung.....	73
C. Beberapa Contoh Kasus Sukses di Luar Negeri	74
BAB 10 TANTANGAN DAN STRATEGI IMPLEMENTASI	
BIOCHAR BERBASIS OFFSET KARBON.....	76
A. Biaya Produksi	76
B. Skalabilitas.....	78

C. Pemahaman Ilmiah	80
D. Perubahan Lahan.....	81
DAFTAR PUSTAKA.....	84
TENTANG PENULIS.....	90

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Konsep biochar berdasarkan suhu pembakaran.....	29
---	----

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1.	Neraca Biomassa di Industri Jagung	20
Gambar 4. 1.	Pori-pori biochar dari tongkol jagung: a. Pori biochar asli, b. pori biochar+NPK	36
Gambar 5. 1.	Proses pengeringan biomassa tongkol jagung menggunakan sinar matahari	39
Gambar 5. 2.	Proses pembakaran tongkol jagung dalam pembuatan biochar: a. Pembakaran menggunakan metode kiln drum; b. Pembakaran menggunakan TLUD; c. Pembakaran menggunakan kontiki.....	40
Gambar 5. 3.	Persentase fraksi pada biochar dari cangkang dan tandan kosong kelapa sawit serta tongkol jagung hasil pirolisis pada kisaran suhu 300-400oc.....	45
Gambar 7. 1.	Aplikasi biochar dilahan pertanian: (a) lubang biopori; (b)larikan; (c) penyebaran dipermukaan tanah.....	56
Gambar 7. 2.	Pertumbuhan tanaman jagung dengan penggunaan pupuk slowrelase bebrasis biochar: (a) Kondisi kadar air kapasitas lapang 60% (percobaan di Green House); (b) kondisi suhu tinggi (terpapar elnino) percobaan lapangan	58
Gambar 7. 3.	Kemampuan retensi air biochar tongkol jagung pada tanah bertekstur liat (a) dan lempung berpasir (b).....	61
Gambar 9. 1.	Aplikasi biochar tongkol jagung pada tanaman kakao	73

BAB 1 | PENDAHULUAN

A. Sistem Produksi Jagung Berbasis Konservasi Karbon

Sistem produksi jagung berbasis konservasi karbon adalah pendekatan pertanian yang bertujuan untuk mengurangi emisi karbon ke atmosfer dan meningkatkan penyerapan karbon di tanah, sambil mempertahankan atau meningkatkan produktivitas tanaman jagung. Pertanian konservasi meningkatkan stok karbon organik tanah. Ketika manfaat biochar dan penjualan kredit karbon dipahami oleh petani, hal ini dapat meningkatkan kelayakan ekonomi dan kelestarian lingkungan. Ada beberapa komponen utama dari sistem produksi jagung berbasis konservasi karbon, diantaranya:

1. **Penggunaan Biochar:** Biochar, yang dihasilkan dari pirolisis biomassa seperti jerami atau tongkol jagung, digunakan dalam tanah sebagai cara untuk menyimpan karbon organik dan meningkatkan kesuburan tanah. Biochar juga dapat meningkatkan retensi air dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman jagung.
2. **Praktek Konservasi Tanah:** Praktek-praktek konservasi tanah, seperti penanaman aliran, tanaman penutup tanah, dan pemupukan organik, digunakan untuk mengurangi erosi tanah, meningkatkan kualitas tanah, dan mempertahankan kadar karbon organik dalam tanah.

3. **Rotasi Tanaman:** Rotasi tanaman dengan tanaman legum atau hijauan lainnya dapat membantu meningkatkan kesuburan tanah dan penyerapan karbon di tanah, serta mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia.
4. **Pengelolaan Residu Tanaman:** Peninggalan sisa tanaman (serasah) dari tanaman jagung sebelumnya dapat dipertahankan di ladang untuk memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kadar karbon organik dalam tanah.
5. **Pengelolaan Air dan Irigasi:** Praktek pengelolaan air yang efisien, termasuk sistem irigasi yang hemat air, dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan produktivitas tanaman jagung.
6. **Penggunaan Pupuk Organik:** Penggunaan pupuk organik, seperti kompos atau pupuk kandang, dapat membantu meningkatkan kandungan karbon organik dalam tanah dan mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia.

B. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Peningkatan Produksi Jagung

1. Iklim dan Cuaca

Faktor iklim seperti curah hujan, suhu, kelembaban udara, dan durasi sinar matahari mempengaruhi pertumbuhan dan hasil jagung secara signifikan. Musim tanam yang optimal dan kondisi cuaca yang baik selama periode pertumbuhan dan pembungaan dapat meningkatkan produksi jagung.

2. Ketersediaan Air

Tanaman jagung membutuhkan air yang cukup untuk pertumbuhan yang optimal. Ketersediaan air yang tepat melalui curah hujan yang memadai atau irigasi yang efisien sangat penting untuk mencapai hasil jagung yang tinggi. Retensi air dalam tanah sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman jagung, diantaranya: 1) **Pertumbuhan Vegetatif:** Tanaman jagung memerlukan air untuk pertumbuhan vegetatif yang optimal, termasuk pembentukan daun dan batang yang kuat. Kekurangan air

dapat menghambat pertumbuhan vegetatif, mengakibatkan tanaman jagung menjadi kurus dan rentan terhadap stres.; 2) **Pembentukan Tongkol:** Retensi air yang cukup dalam tanah juga penting untuk pembentukan tongkol pada tanaman jagung. Kekurangan air selama fase pembentukan tongkol dapat mengurangi jumlah dan ukuran tongkol, serta kualitas biji yang dihasilkan; 3) **Fotosintesis:** Proses fotosintesis, di mana tanaman menggunakan air dan karbon dioksida untuk menghasilkan glukosa dan oksigen, sangat penting untuk pertumbuhan tanaman jagung. Kekurangan air dapat mengganggu proses fotosintesis, menghambat produksi karbohidrat yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman; 4) **Metabolisme Tanaman:** Air juga merupakan komponen penting dalam berbagai proses metabolik dalam tanaman jagung. Ini termasuk transportasi nutrisi dan mineral dari tanah ke sel-sel tanaman, serta pengelolaan suhu tubuh tanaman untuk menghindari stres panas; 5) **Resistensi Terhadap Stres Lingkungan:** Tanaman jagung yang memiliki akses terbatas terhadap air lebih rentan terhadap stres lingkungan seperti kekeringan. Kekurangan air dapat mengakibatkan tanaman jagung menjadi layu, mengganggu keseimbangan hormonal, dan meningkatkan risiko serangan penyakit dan hama; dan 6) **Produktivitas dan Hasil Panen:** Ketersediaan air yang cukup dalam tanah sangat penting untuk mencapai produktivitas dan hasil panen yang optimal. Tanaman jagung yang mendapat pasokan air yang cukup cenderung menghasilkan tongkol yang lebih besar dan lebih banyak biji, meningkatkan hasil panen keseluruhan.

3. Kesuburan Tanah

Ketersediaan nutrisi tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman jagung. Tanah yang subur dengan kandungan bahan organik yang tinggi dan pH yang seimbang mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat dan hasil yang baik. Tanaman jagung membutuhkan nutrisi yang cukup untuk tumbuh dengan

baik dan menghasilkan hasil yang optimal. Kesuburan tanah yang baik memastikan ketersediaan nutrisi esensial seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K), serta unsur hara mikro lainnya yang dibutuhkan oleh jagung. Penyediaan nutrisi yang memadai bagi tanaman jagung sangat penting untuk pertumbuhan yang sehat dan hasil panen yang optimal. Berikut adalah beberapa nutrisi penting yang dibutuhkan oleh tanaman jagung serta cara-cara penyediaannya:

a. Nitrogen (N):

Nitrogen sangat penting untuk pertumbuhan vegetatif tanaman jagung, seperti pembentukan daun dan batang. Pupuk nitrogen sintetis seperti urea atau amonium nitrat dapat diberikan sebelum atau selama masa tanam untuk memenuhi kebutuhan tanaman jagung akan nitrogen. Alternatifnya, pupuk organik seperti kompos atau pupuk hijau dapat memberikan sumber nitrogen yang lebih lambat tetapi lebih berkelanjutan.

b. Fosfor (P)

Fosfor penting untuk pertumbuhan akar dan pembentukan biji tanaman jagung. Pupuk fosfat seperti superfosfat tunggal dapat diberikan pada awal masa tanam atau dicampur dengan tanah saat persiapan lahan. Biochar juga dapat meningkatkan ketersediaan fosfor dalam tanah.

c. Kalium (K)

Kalium mendukung pertumbuhan tanaman jagung secara keseluruhan dan membantu dalam resistensi terhadap penyakit dan stres lingkungan. Pupuk kalium seperti kalium sulfat atau kalium klorida dapat diberikan pada awal masa tanam atau selama pertumbuhan tanaman. Pupuk organik seperti abu kayu juga merupakan sumber kalium yang baik.

d. Unsur Hara Mikro

Tanaman jagung juga membutuhkan unsur hara mikro seperti magnesium, kalsium, sulfur, dan unsur mikro lainnya seperti besi, mangan, tembaga, dan seng. Pupuk kompleks yang mengandung unsur hara mikro dapat diberikan untuk memastikan kebutuhan tanaman akan nutrisi ini terpenuhi.

4. Praktek Budidaya

Praktek budidaya yang baik, termasuk pemilihan varietas yang sesuai, penanaman pada waktu yang tepat, pemupukan yang tepat, pengendalian gulma dan hama yang efektif, serta pengelolaan tanaman yang baik, semuanya berkontribusi pada peningkatan produksi jagung.

5. Genetika Tanaman

Penggunaan varietas jagung unggul yang memiliki sifat-sifat genetik yang diinginkan, seperti ketahanan terhadap penyakit, produktivitas tinggi, dan kualitas hasil yang baik, dapat secara signifikan meningkatkan produksi jagung.

6. Manajemen Air

Pengelolaan air yang baik, termasuk irigasi yang tepat, penggunaan teknologi penghematan air, dan pengendalian erosi, dapat membantu memaksimalkan ketersediaan air bagi tanaman jagung dan meningkatkan hasil panen.

7. Teknologi Pertanian

Penerapan teknologi pertanian modern, seperti penggunaan pupuk dan pestisida yang tepat, teknik pertanian tanpa olah tanah, penggunaan varietas hibrida atau transgenik, serta penggunaan alat dan mesin pertanian yang canggih, semuanya dapat berkontribusi pada peningkatan produksi jagung.

8. Manajemen Risiko

Pengelolaan risiko yang baik, termasuk asuransi pertanian, diversifikasi tanaman, dan penggunaan praktik-praktik adaptasi terhadap perubahan iklim, dapat membantu melindungi produksi jagung dari gangguan eksternal dan meningkatkan keberlanjutan sistem pertanian.

C. Pertanian Karbon dan Offset Karbon dalam Budidaya Jagung

Perkembangan pertanian selama berabad-abad yang lalu dan khususnya pada dekade-dekade terakhir telah secara substansial. Tanah pertanian merupakan salah satu penyimpan karbon terbesar di dunia dan mempunyai potensi perluasan penyerapan karbon (CS), sehingga memberikan cara yang prospektif untuk memitigasi peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer. Diperkirakan bahwa tanah dapat menyerap sekitar 20 Pg C dalam 25 tahun, yang merupakan lebih dari 10 % emisi antropogenik.

Konsekuensi pertanian dari pemanasan global membuat semua orang tidak punya pilihan selain menerapkan perubahan untuk melawan perubahan iklim dan bersiap menghadapi dampaknya. Pertanian karbon adalah solusi berbasis pertanian terhadap perubahan iklim yang memberikan pendapatan bagi petani karena beralih ke teknik pertanian penyerapan karbon tanah. Ini adalah proses yang melibatkan pemantauan, pelaporan, dan verifikasi (MRV) untuk menghasilkan kredit karbon yang dijual kepada organisasi yang ingin mengimbangi emisi gas rumah kaca mereka. Karbon secara alami ditemukan di tanah. Ketika tanah terganggu, karbon dioksida dilepaskan ke atmosfer yang saat ini berada pada tingkat berbahaya yang menyebabkan planet semakin panas. Namun idenya adalah untuk membalikkan tren tersebut dengan memanfaatkan kapasitas tanah untuk menahan karbon dioksida di atmosfer melalui praktik pertanian berkelanjutan untuk menangkap karbon di dalam tanah. Pertanian karbon yang menghasilkan kredit karbon yang menghasilkan pendapatan berarti berkomitmen pada praktik pertanian yang mendorong penyerapan karbon tanah. Aktivitas pengelolaan pertanian untuk :

1. **Penyerapan karbon tanah** : Strategi penghilangan karbon yang memanfaatkan metode pertanian yang berfokus pada pemanfaatan tanah untuk menangkap dan menyimpan karbon. Untuk lahan pertanian, aktivitas yang berfokus pada penyerapan karbon di dalam tanah berakar pada praktik

pertanian regeneratif yang meningkatkan bahan organik yang meningkatkan struktur tanah, retensi air, pengelolaan nutrisi, dan keanekaragaman hayati.

2. **Pengurangan atau Penghindaran Emisi GRK** : Penerapan praktik pertanian yang mengurangi atau mencegah emisi gas rumah kaca **dalam** pertanian dengan mengubah praktik pertanian yang menghasilkan emisi menjadi praktik yang mengurangi emisi pertanian.
3. **Penyeimbangan karbon (Ofseet karbon)** : adalah berbagai kegiatan **yang** menghasilkan kredit karbon untuk diperdagangkan di pasar karbon, untuk melawan peningkatan emisi gas rumah kaca secara global. Penyeimbangan karbon memerlukan penerapan metode yang menghilangkan atau mengurangi emisi. Jenis offset ini dapat didefinisikan sebagai:

- a. **Penghindaran karbon** : mengurangi jumlah emisi yang masuk ke atmosfer dengan menghindari atau membatasi aktivitas yang dapat melepaskan gas rumah kaca. Contohnya di bidang pertanian adalah membatasi penggunaan alat berat yang menggunakan bahan bakar fosil.
- b. **Penghapusan karbon** : menggunakan teknologi atau solusi berbasis alam untuk menarik emisi yang ada di atmosfer ke dalam penyimpanan. Contohnya pertanian karbon dan proyek reboisasi yang menyimpan karbon di tanah atau pepohonan.

Pertanian jagung merupakan bagian integral dari ekonomi global, memberikan kontribusi penting dalam memenuhi kebutuhan pangan dan energi. Namun, dalam beberapa dekade terakhir, pertanian jagung juga telah menjadi sumber utama emisi gas rumah kaca, yang berkontribusi pada perubahan iklim yang semakin meresahkan. Dalam menghadapi tantangan ini, diperlukan

pendekatan yang inovatif dan berkelanjutan untuk meningkatkan produktivitas pertanian jagung sambil secara efektif mengurangi dampak lingkungan. Biomassa jagung dalam bentuk limbah merupakan sumber karbon berkelanjutan karena tersedia sepanjang tahun.

Pemanfaatan limbah jagung dapat dilakukan melalui mekanisme penyeimbangan karbon. Penyeimbangan karbon di lahan pertanian akan berdampak pada hasil panen, produktivitas dan kesehatan tanah melalui pemulihan dan pemeliharaan kondisi lahan pertanian yang terdegradasi. Hal ini dilakukan untuk menjamin keberlanjutan pertanian dari dampak perubahan iklim serta memastikan bahwa masalahnya tidak bertambah buruk melalui emisi gas rumah kaca yang berlebihan dan degradasi tanah yang terus berlanjut.

Penyeimbangan karbon di bidang pertanian menciptakan peluang untuk meningkatkan stok karbon tanah di tanah pertanian sehingga memberikan **insentif finansial kepada petani**. Transisi ke praktik pertanian karbon memperkuat komitmen global terhadap pengurangan karbon sekaligus memperkuat umur panjang pertanian yang terkena ancaman langsung dari perubahan iklim dan cuaca ekstrem.

Salah satu solusi yang menjanjikan adalah penggunaan biochar dalam budidaya jagung. Biochar, yang merupakan produk dari pirolisis biomassa, telah terbukti tidak hanya meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas tanaman, tetapi juga mengurangi emisi gas rumah kaca melalui proses yang dikenal sebagai offset karbon.

Biochar memberikan beberapa manfaat pertanian dan lingkungan, seperti: 1) kesehatan tanah perbaikan; 2) pertumbuhan dan hasil panen yang lebih baik; 3) penyerapan karbon; 4) penurunan emisi gas rumah kaca (GRK); dan 5) mekanisme penyerapan nutrisi. Biochar berperan dalam mengubah fisiokimia dan tanah sifat biologis, dan

dampaknya terhadap peningkatan perkecambahan benih dan pertumbuhan bibit, mengubah karakter fisiologis tanaman, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap tekanan biotik dan abiotik, meningkatkan produktivitas tanaman, mengurangi gas rumah kaca, dan mengendalikan kehilangan nutrisi. Namun, jenis bahan baku yang digunakan, suhu pirolisis, laju dan metode aplikasi, jenis tanah dan spesies tanaman sangat mempengaruhi kinerja biochar dalam lingkungan yang berbeda kondisi. Biochar memodifikasi abiotik dan mikroba proses di rhizosfer dan peningkatan mineralisasi nutrisi dan ditingkatkan ketersediaan unsur hara untuk serapan tanaman. Oleh karena itu, biochar meningkatkan kualitas tanaman ketahanan terhadap penyakit, mengurangi ketersediaan logam berat dan meningkatkannya ketahanan tanaman terhadap stresor lingkungan (Murtaza et al., 2023).

Biochar adalah material karbon yang stabil secara biologis, yang dapat bertahan dalam tanah selama berabad-abad. Dengan menerapkan biochar dalam budidaya jagung, kita dapat mencapai dua tujuan utama sekaligus: meningkatkan hasil pertanian dan mengurangi dampak lingkungan.

Meningkatnya kebutuhan akan industri yang lebih ramah lingkungan berarti semua pelaku usaha berada di bawah tekanan untuk menjaga emisi gas mereka serendah mungkin. Hal ini menyebabkan **permintaan kredit pertanian karbon semakin** kuat, dengan harga pasar saat ini berkisar antara €30-80 per metrik ton setara CO₂ yang diserap. Dengan demikian, partisipasi petani dalam penyeimbangan karbon mengembangkan aliran pendapatan baru dengan menjual kredit penggantian kerugian karbon kepada bisnis atau organisasi lain. Untuk itu dilakukan **verifikasi pengukuran perubahan tingkat karbon**, sehingga menghasilkan kredit karbon bersertifikat melalui berbagai jenis penyeimbangan karbon.

D. Sistem Konservasi dalam Budidaya Jagung

Budidaya jagung di Indonesia sebagian besar diarahkan pada lahan kering dengan kondisi fisik bergelombang hingga berbukit. Dengan sistem konvensional, budidaya jagung tanpa konservasi mengakibatkan lahan terdegradasi yang mengarah pada pembentukan lahan kritis. Oleh karena itu budidaya jagung harus disertai dengan kegiatan konservasi lahan. Dalam budidaya jagung, sistem konservasi adalah pendekatan yang dirancang untuk menjaga dan meningkatkan kualitas tanah serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Berikut beberapa strategi konservasi yang umum diterapkan dalam budidaya jagung:

1. **Tanaman Penutup Tanah:** Menanam tanaman penutup tanah seperti legum atau rumput di antara tanaman jagung dapat membantu menutupi tanah, mengurangi erosi, meningkatkan kandungan organik tanah, dan meningkatkan ketersediaan nutrisi.
2. **Pertanian Konservasi:** Praktik pertanian konservasi, seperti tanaman teras, strip cropping, atau no-till farming, membantu mengurangi erosi tanah, meningkatkan infiltrasi air, dan mempertahankan kesuburan tanah.
3. **Rotasi Tanaman:** Rotasi tanaman dengan menanam spesies tanaman yang berbeda setiap musim tanam dapat membantu mengendalikan hama dan penyakit tanaman, meningkatkan kesuburan tanah, dan mengurangi kebutuhan akan input kimia.
4. **Penggunaan Biochar:** Seperti yang disebutkan sebelumnya, penggunaan biochar dalam budidaya jagung dapat meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi erosi, dan menyimpan karbon di tanah.
5. **Manajemen Air:** Pengelolaan air yang efisien, seperti irigasi yang tepat waktu dan penggunaan sistem irigasi tetes, dapat membantu mengurangi erosi tanah dan meningkatkan hasil tanaman jagung.

6. **Penggunaan Pupuk Organik:** Menggunakan pupuk organik, seperti kompos atau pupuk kandang, membantu meningkatkan kandungan organik tanah dan memperbaiki struktur tanah, sehingga meningkatkan produktivitas tanaman jagung.
7. **Konservasi Sumber Daya Air:** Perlindungan sumber daya air, seperti sungai, danau, dan sistem perairan lainnya di sekitar lahan pertanian jagung sangat penting untuk menjaga kualitas air dan keberlanjutan ekosistem.
8. **Pengelolaan Sisa Tanaman:** Mengelola sisa tanaman jagung dengan benar, seperti melalui pemotongan atau penggilingan sisa tanaman, dapat membantu mengurangi erosi dan meningkatkan dekomposisi bahan organik.

Dengan menerapkan strategi konservasi yang tepat, petani dapat meningkatkan produktivitas tanaman jagung sambil menjaga keberlanjutan lingkungan dan tanah jangka panjang.

BAB

2

PERAN KARBON TANAH DALAM BUDIDAYA JAGUNG

Tanah merupakan komponen kunci dalam ekosistem yang mengontrol siklus biogeokimia, hidrologi, dan sedimen. Tanah memainkan peran penting dalam mencapai keberlanjutan karena menyediakan sumber daya, barang, dan jasa bagi umat manusia. Sistem tanah sangat penting untuk memahami keterhubungan aliran air dan sedimen dan keberlanjutan praktik pengelolaan tanah. Dalam sistem tanah, karbon mengendalikan fungsi hidrologi, biologi, dan kimia tanah dan hal ini dipercepat di lahan pertanian di mana karbon merupakan faktor utama dalam sistem tanah.

Penambahan stok karbon tanah memerlukan perubahan manajemen dalam budidaya tanaman. Bagaimanapun stok karbon dalam lahan pertanian harus memberikan manfaat ekonomi, ekologi maupun sosial. Peningkatan bahan organik dapat menurunkan risiko kegagalan panen, meningkatkan ketahanan terhadap kekeringan dan curah hujan tinggi, meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara, meningkatkan keanekaragaman hayati bawah tanah dan peningkatan pasokan jasa ekosistem.

Karbon dioksida (CO_2) adalah salah satu gas rumah kaca yang paling umum ditemui di atmosfer bumi, dan peningkatan konsentrasinya telah menjadi salah satu penyebab utama perubahan iklim global. Salah satu cara untuk mengurangi kadar CO_2 di atmosfer adalah dengan menyimpan lebih banyak karbon di dalam tanah. Karena, stok karbon tanah meningkatkan kandungan C-organik tanah yang membantu peningkatan keanekaragaman organisme hidup dengan penyediaan substrat dan energi, yang berperan penting dalam menjaga kualitas dan fungsi tanah pada ekosistem. Sifat tanah dipengaruhi langsung oleh C-organik tanah.

yang berbeda satu sama lain dalam tingkat pergantian karbon, stabilitas biologis dan komposisi biokimia.

Aktivitas antropogenik seperti praktik pengolahan tanah, perubahan penggunaan lahan, dan sistem tanam mempengaruhi dinamika kandungan karbon tanah, sehingga berpengaruh terhadap siklus hidrologi dan erosi tanah akibat curah hujan. Peningkatan karbon tanah menjadi solusi berbasis alam untuk mengatasi berbagai masalah lingkungan lahan pertanian.

A. Mitigasi Perubahan Iklim

Peningkatan stok karbon organik tanah (SOC) di tanah pertanian menghilangkan karbon dioksida dari atmosfer dan berkontribusi terhadap pencapaian netralitas karbon. Tanah yang mengandung lebih banyak karbon organik akan menyerap lebih banyak CO₂ dari atmosfer, membantu mengurangi konsentrasi gas rumah kaca dan mengurangi efek pemanasan global. Dengan meningkatkan karbon tanah pada setiap aktivitas budidaya, misalnya pembakaran limbah tanpa asap, penggunaan limbah sebagai bahan pembenah tanah pada setiap aktivitas budidaya pertanian dapat memberikan kontribusi positif dalam mitigasi perubahan iklim. Bagaimanapun, limbah pertanian merupakan sumber bahan organik berkelanjutan di dunia. Salah satu bentuk bahan organik tanah adalah biochar, yang digunakan secara luas sebagai bahan pembenah tanah untuk melawan perubahan iklim melalui pengendalian produksi gas rumah kaca dan peningkatan penyerapan C pada tanah lahan pertanian.

Biochar adalah bahan mirip arang yang terbuat dari sampah organik. Ini dapat digunakan untuk menyimpan karbon selama ratusan atau ribuan tahun. Biochar adalah cara yang relatif murah dan terukur untuk menghilangkan karbon dari atmosfer. Ini juga dapat digunakan untuk meningkatkan kesehatan tanah dan mengurangi kebutuhan pupuk. Mitigasi perubahan iklim tidak hanya memerlukan pengurangan emisi gas rumah kaca, namun juga penarikan karbon dioksida (CO₂) dari atmosfer.

Biochar dapat menghubungkan antara pengurangan emisi dan penghilangan CO₂ yang didasarkan pada pirolisis biomassa untuk menghasilkan biochar, digunakan untuk aplikasi tanah, dan bioenergi terbarukan. Secara global, sistem biochar dapat menghasilkan pengurangan emisi sebesar 3,4–6,3 PgCO₂e, setengahnya merupakan penghilangan CO₂.

B. Kesuburan Tanah

Bagi petani, kandungan C-organik tanah yang lebih tinggi memiliki banyak manfaat, termasuk peningkatan kesuburan tanah dan ketahanan terhadap kehilangan hasil panen akibat kekeringan. Tanah yang subur memiliki kandungan C-organik >2%. Tanah dengan kandungan C-Organik yang tinggi memiliki kemampuan menyimpan air yang lebih besar.

Karbon organik di dalam tanah berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah. Karbon organik ini merupakan sumber energi bagi mikroorganisme tanah yang memecah bahan organik menjadi nutrisi yang tersedia bagi tanaman, seperti nitrogen, fosfor, dan sulfur. Dengan demikian, peningkatan karbon tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah dan kesehatan ekosistem pertanian.

Bahan organik merupakan sumber utama penyimpanan unsur hara makro seperti nitrogen (N), Posfat (P) dan sulfur (S). Sedangkan unsur hara mikro, terutama zat besi (Fe) dan tembaga (Cu), dan beberapa lainnya seng (Zn), bahan organik tanah menentukan ketersediaan unsur hara mikro tersebut untuk tanaman. Hasil panen yang tinggi di bidang pertanian memerlukan pasokan nutrisi mineral tanaman yang cukup hingga tinggi— baik unsur hara makro maupun unsur hara mikro. Pengangkutan unsur hara dalam tanah terjadi melalui aliran massa dan difusi di dalam tanah larutan tanah. Akar tanaman tidak dapat menyerap semua spesies unsur hara yang ada dalam larutan tanah.

Modifikasi wilayah rhizosfer dengan penambahan biochar dapat merangsang pertumbuhan akar dalam penyerapan air dan nutrisi. Ini dapat terjadi karena biochar

memodifikasi sifat fisik dan kimia tanah terkait dengan retensi air dan hara, melalui peningkatan porositas, luas permukaan, KTK dan pH tanah. Akar tanaman sangat penting dalam pertumbuhan tanaman, karena terkait dengan penyerapan air dan nutrisi pada wilayah rhizosfer. Oleh karenanya sangat penting mensponsori akar tanaman pada wilayah rhizosfer dengan penambahan bahan organik tanah, sebagai sumber karbon dan pemacu pertumbuhan.

Biochar mengalami oksidasi sehingga meningkatkan kemampuan retensi hara sehingga tersedia bagi tanaman (Jindo et al. 2012). Ini terkait dengan meningkatnya humifikasi sehingga terjadi perubahan secara signifikan pada sifat kimia bahan organik seperti peningkatan alkil dan indeks aromatik), yang mempengaruhi KTK tanah. Seperti pengurangan penguapan nitrogen (Hua et al., 2009).

C. Kapasitas Penyimpanan Air

Peningkatan kandungan bahan organik menyebabkan peningkatan retensi air pada tanah berpasir, dan penurunan pada tanah bertekstur halus. Pada nilai karbon organik yang tinggi, semua tanah menunjukkan peningkatan retensi air. Peningkatan terbesar terjadi pada tanah berpasir dan berlumpur. Penambahan karbon tanah dalam bentuk biochar pada dosis 900 g/12 kg tanah meningkatkan kemampuan tanah bertekstur liat yang dominan mineral kaolinit meretensi air tanah. Hal ini disebabkan meningkatnya pori antara yang terjadi antara partikel liat dengan partikel biochar dan partikel biochar itu sendiri.

Karbon organik dalam tanah juga berperan dalam meningkatkan kapasitas penyimpanan air tanah. Tanah yang kaya akan karbon organik cenderung memiliki struktur yang lebih baik dan daya serap yang lebih tinggi, sehingga dapat menyimpan lebih banyak air. Hal ini penting terutama dalam budidaya jagung di lahan kering, di mana ketersediaan air sering menjadi faktor pembatas. Kebutuhan air tanaman jagung selama periode pertumbuhannya adalah 500-800 mm Untuk produksi

yang lebih baik, tanaman jagung berumur sedang memerlukan antara 500 hingga 800 mm air, tergantung pada jenis tanaman tersebut lingkungan hidup (FAO, 2012).

Tanaman jagung merupakan tanaman C4 yang lebih mampu memanfaatkan CO₂, radiasi matahari, air dan N dalam fotosintesis dibandingkan dengan tanaman C3. Kebutuhan air tanaman (CWR) jagung sekitar dua kali lipat dari C3 tanaman yang ditanam di tempat serupa. Kultivar jagung yang berbeda memiliki kebutuhan air dan penggunaan air tanaman yang berbeda-beda efisiensi. Kebutuhan air irigasi juga berbeda secara statistik di antara semua hibrida. Untuk pertumbuhan dan perkembangan jagung yang normal, hasil panennya maksimal dan merata serta kelasnya tinggi penting untuk menjaga kelembaban tanah yang optimal di zona akar selama masa pertumbuhan. Untuk penentuan optimal kebutuhan irigasi tanaman, penting untuk menentukan evapotranspirasi aktual tanaman. Tanaman Kebutuhan air terutama bergantung pada pasokan air dari tanah, kebutuhan air oleh tanaman, dan cara tanaman memanfaatkan persediaan air yang terbatas.

Pemberian air harus sesuai dengan tingkat pertumbuhan jagung karena sangat berpengaruh terhadap produksi. Periode pertumbuhan tanaman jagung terdiri atas fase pertumbuhan awal (selama 15-25 hari), fase vegetative (25-40 hari), fase pembungaan (selama 15-20) atau 55 HST-60 HST, fase pengisian biji (35-45 hari) atau 90 HST-105 HST dan fase (Sukmawati, 2020b).

D. Ketahanan Terhadap Kekeringan

Di Indonesia, jagung umumnya dihasilkan dari lahan kering daerah dengan tanah Ultisols, Inceptisols, Oxisols andisols, Alfisol dan Entisol. Salah satu pesanan tanah yang ditargetkan pengembangan jagung adalah Ultisols karena tanah ini mencapai 25% dari total luas daratan di Indonesia. Tanah ini terdapat di zona tropis dan ditandai dengan kesuburan yang rendah.

Budidaya jagung di lahan kering sering kali rentan terhadap kekeringan. Tanah yang mengandung lebih banyak karbon organik cenderung lebih stabil terhadap perubahan iklim dan lebih dapat menahan kelembaban tanah, sehingga meningkatkan ketahanan tanaman jagung terhadap kekeringan. Air merupakan salah satu factor yang membatasi pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. Kebutuhan air terbanyak dibutuhkan pada fase pembungaan dan pengisian biji. Pada fase ini yang dibutuhkan adalah air tersedia bagi tanaman, karena kebutuhan meningkatn secara cepat dengan meningkatnya perkembangan daun selama pertumbuhan vegetatif.

Stres kelembaban merupakan masalah yang signifikan pada tanah ini. Stres air menyebabkan perubahan fisiologis tanaman seperti seiring berkurangnya fotosintesis dan transpirasi, perubahan ciri-ciri fisiologis daun tumbuhan, seperti fotosintesis daun dan laju transpirasi (Hussain et al. 2018) dan juga menyebabkan berkurangnya bobot segar dan tanaman kering (Huang et al. 2010). Menanam jagung di sini tanah mengakibatkan penurunan hasil jagung jika kekurangan air terjadi pada tahap generatif (Mi et al. 2018). Ini Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menerapkan amandemen organik pada jenis tanah ini. Amandemen organik berdampak signifikan peningkatan kualitas tanah, terutama bila digunakan dengan pupuk organik (Chuan-chuan dkk. 2017). Menerapkan amandemen organik dapat mendorong dekomposisi posisi dalam proses mineralisasi di Ultisol dan meningkataktivitas mikroorganisme tanah (Xu et al., 2020; Elayaraja dan Sathiyamurthi, 2020). Biochar, pupuk kandang dan juga arang dan kompos adalah bahan organik yang dapat memperbaiki kondisi tanah kualitas dan produksi tanaman (Hussain et al., 2017; Triatmoko dkk., 2020; Nasar et al., 2019), yang berperan dalam menyerap dan menetralsir kontaminan berbahaya di dalam tanah (Yuan dkk. 2019). Semua jenis biochar dapat ditingkatkan ketersediaan air tanah, termasuk tanah liat (Günel dkk. 2018).

E. Pengurangan Erosi Tanah

Lahan pertanian untuk jagung sebagian besar berda di lahan kering dengan topografi miring sehingga sangat rentang dengan kejadian erosi. Hal ini diperparah dengan tingkat pemakaian pupuk kimia yang menyebabkan dispersi liat. Hal ini menjadi penyebab lepasnya partikel tanah dari agregat sehingga mudah mengalami erosi. Erosi tanah dan hilangnya karbon tanah Erosi tanah mempunyai dampak yang parah terhadap hilangnya karbon (Lal, 2003), secara langsung dengan memindahkan partikel tanah dan memaparkan karbon yang terbungkus. Erosi tanah juga secara tidak langsung membuka lapisan tanah di bawahnya, sehingga meningkatkan emisi karbon biologis dan menurunkan agregat (Haring et al., 2013). Hilangnya karbon sekitar 20–50 Mg C ha⁻¹ dilaporkan terjadi ketika ekosistem alami diubah menjadi ekosistem pertanian dalam waktu 5 tahun di daerah tropis dan 50 tahun di daerah beriklim sedang.

Karbon organik membantu meningkatkan agregasi tanah, yaitu ikatan partikel tanah yang membentuk struktur tanah yang kokoh. Struktur tanah yang baik dapat mengurangi erosi tanah, yang sering kali merupakan masalah serius dalam budidaya jagung di lahan kering. Dengan memahami dan meningkatkan karbon tanah dalam sistem budidaya jagung, petani dapat menciptakan lingkungan pertanian yang lebih berkelanjutan, produktif, dan ramah lingkungan.

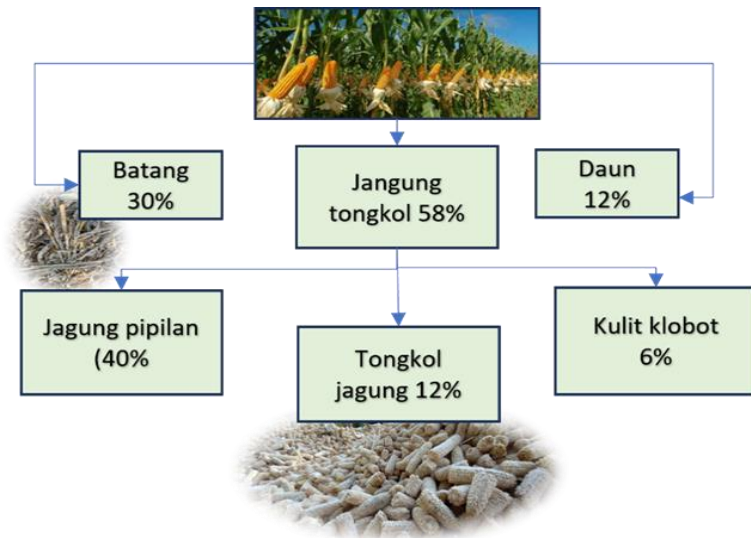
BAB 3

EVALUASI POTENSI BIOMASSA JAGUNG SEBAGAI SUMBER KARBON

A. Potensi Biomassa

Pertanian merupakan sektor bisnis yang sangat berkembang di Indonesia, hal tersebut menunjukkan potensi yang cukup tinggi untuk memenuhi sumber bahan baku pembuat biomassa. Sebagai negara agraris, Indonesia memiliki areal pertanian yang sangat luas sehingga tidaklah sulit untuk mendapatkan limbah pertanian. Walaupun demikian limbah yang berasal dari aktivitas pertanian seperti tanaman pangan (padi dan jagung) belum dimanfaatkan secara maksimal. Hal ini terlihat pada setiap kali panen limbah tanaman tersebut hanya dibakar di lahan untuk membersihkan areal pertanian.

Residu pertanian merupakan sumber utama bahan organik berkelanjutan di dunia (Srivastava et al., 2020), seperti tongkol jagung belum dimanfaatkan secara maksimal sebagai sumber bahan organik (Nurhayati et al., 2015). Pada hal, biomassa ini terus dihasilkan dalam jumlah yang cukup besar. Luas panen jagung di Indonesia seluas 5.734.326 ha (BPS, 2018). Samanta et al. (2012) mengestimasi produksi tongkol jagung dalam satu hektar berkisar 1,42-1,53 ton. Tongkol jagung memiliki komposisi karbon sebanyak 74,80% (Ceranic et al., 2016). Artinya, tersedia tongkol jagung sebanyak 8.8 juta ton yang berpotensi menghasilkan karbon sebesar 6,6 juta ton per tahun. Apabila dimaksimalkan sebagai bahan pembenah tanah, maka jumlah ini dapat menambah bahan organik tanah sebesar 9 ton (Young, 1989) pada lahan seluas 729.177 ha.



Gambar 3. 1. Neraca Biomassa di Industri Jagung

Biomassa adalah jumlah bahan organik yang diproduksi oleh organisme (tumbuhan) per satuan unit area pada suatu saat. Biomas bisa dinyatakan dalam ukuran berat, seperti berat kering dalam satuan gram, atau dalam kalori. Oleh karena kandungan air yang berbeda adalah gr per m² atau ton per ha. Biomassa jagung mengandung 39,47% selulosa, 27-32% hemiselulosa, 3-5% lignin, 12-16% abu dan 1-3% ekstraktif (Riyanti, 2009). Beberapa bagian biomassa jagung yang menjadi limbah pertanian berpotensi menjadi sumber karbon tanah, antara lain: batang, daun klobot dan tongkol jagung. Pemanfaatan limbah batang tanaman jagung sebagai sumber selulosa dapat meningkatkan nilai guna limbah hasil pertanian. Batang tanaman jagung mengandung selulosa 42,6%, hemiselulosa 21,3%, dan lignin 8,2% sehingga potensi limbah batang tanaman jagung yang tinggi tersebut berpeluang sebagai salah satu alternatif sumber selulosa. Sementara itu tongkol jagung mengandung 40% selulosa, 36% hemiselulosa, 16% lignin dan zat lainnya sebanyak 8% (Irawadi, 1990). Menurut Rohaeni et al (2005), produk sampingan dari pertanaman jagung dalam bentuk

batang dan daun memberikan porsi yang lebih tinggi sementara bagian janggel jagung porsinya relatif lebih kecil yaitu dibawah 1 ton per ha.

B. Potensi Karbon Biomassa Jagung

Limbah tanaman jagung, seperti batang, sekam, dan tongkol jagung, dapat menjadi sumber daya berharga untuk meningkatkan cadangan karbon tanah. Ketika residu ini dikembalikan ke dalam tanah alih-alih dibuang dari lahan, residu tersebut berkontribusi terhadap akumulasi bahan organik di dalam tanah, yang merupakan komponen kunci karbon tanah. Untuk memaksimalkan potensi limbah tanaman jagung sebagai cadangan karbon tanah, penting untuk menerapkan praktik pertanian berkelanjutan seperti pengolahan tanah konservasi, penanaman penutup tanah, dan rotasi tanaman. Praktik-praktik ini tidak hanya meningkatkan jumlah residu yang dikembalikan ke tanah tetapi juga meningkatkan kesehatan dan ketahanan tanah secara keseluruhan. Selain itu, mengoptimalkan pengelolaan unsur hara dan memastikan dekomposisi residu yang tepat dapat lebih meningkatkan efektivitas penggunaan limbah tanaman jagung untuk membangun cadangan karbon tanah.

Potensi karbon limbah tanaman jagung bervariasi tergantung beberapa faktor antara lain jenis residu (batang, sekam, tongkol), tahap kematangan saat panen, dan kondisi lingkungan pada saat pertumbuhan. Namun rata-rata sisa tanaman jagung mengandung karbon dalam jumlah besar sehingga dapat menyumbang cadangan karbon tanah bila dikembalikan ke dalam tanah. Berikut rincian kandungan karbon di berbagai bagian tanaman jagung:

1. Batang: Batang jagung biasanya mengandung jumlah karbon tertinggi di antara sisa tanaman lainnya. Rata-rata batang jagung memiliki kandungan karbon berkisar antara 40% hingga 45%. Namun, hal ini dapat bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti varietas jagung, kesuburan tanah, dan praktik pengelolaan.

2. Sekam: Kulit jagung juga mengandung sejumlah besar karbon, meskipun sedikit lebih sedikit dibandingkan batangnya. Kandungan karbon kulit jagung umumnya berkisar antara 35% hingga 40%.
3. Tongkol: Tongkol jagung memiliki kandungan karbon yang lebih rendah dibandingkan batang dan sekam namun tetap berkontribusi terhadap cadangan karbon tanah. Kandungan karbon tongkol jagung biasanya berkisar antara 40% hingga 45%.

Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa limbah tanaman jagung jika dikembalikan ke dalam tanah dapat meningkatkan kandungan karbon tanah secara signifikan. Misalnya, jika tanaman jagung menghasilkan 4 ton per hektar biomassa di atas permukaan tanah (tangkai, sekam, tongkol), dan dengan asumsi kandungan karbon rata-rata sebesar 40%, hal ini setara dengan sekitar 1,6 ton karbon per hektar yang ditambahkan ke dalam tanah.

Penting untuk dicatat bahwa potensi karbon sebenarnya dari limbah tanaman jagung dapat bervariasi berdasarkan faktor-faktor seperti praktik pengelolaan tanaman (misalnya pengolahan tanah, pengelolaan residu), jenis tanah, iklim, dan hasil panen. Selain itu, laju penyerapan karbon di dalam tanah bergantung pada faktor-faktor seperti laju dekomposisi, aktivitas mikroba tanah, dan stabilisasi bahan organik.

Secara keseluruhan, limbah tanaman jagung merupakan sumber daya berharga untuk meningkatkan cadangan karbon tanah dan meningkatkan kesehatan tanah bila dikelola secara efektif sebagai bagian dari sistem pertanian berkelanjutan.

C. Pemanfaatan Limbah Jagung sebagai Bahan Organik

Pemanfaatan limbah dalam sistem produksi jagung berbasis karbon adalah strategi yang penting untuk mengurangi jejak karbon, meningkatkan kesuburan tanah, dan menciptakan siklus yang lebih berkelanjutan dalam pertanian.

Limbah jagung dapat dimanfaatkan sebagai bahan organik tanah untuk meningkatkan kesuburan dan produktivitas tanah. Bahan organik limbah jagung sangat penting dalam pembentukan agregat tanah dan dapat meningkatkan kualitas tanah.

Limbah jagung yang digunakan sebagai bahan organik dapat berupa daun, batang, dan tongkol jagung yang biasanya dibuang atau ditinggalkan di lokasi tanam. Kandungan hara penting seperti posfor dan kalium dalam limbah jagung dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman jagung. Penggunaan limbah jagung sebagai bahan organik dapat meningkatkan kualitas tanah dengan cara memperbaiki lingkungan fisik, kimia, dan biologi tanah yang lebih baik bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman jagung. Pemberian limbah serasah jagung dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung manis dibandingkan dengan tidak diberikan limbah serasah jagung.

Pemanfaatan limbah jagung sebagai pupuk organik dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi penggunaan pupuk non-organik. Pembuatan pupuk organik dari limbah jagung dapat meningkatkan daya tahan tanah terhadap erosi, memperbaiki biodiversitas dan kesehatan tanah, serta mengurangi penggunaan pupuk non-organik. Dalam beberapa penelitian, limbah jagung telah digunakan sebagai bahan organik tanah dan telah menunjukkan hasil yang positif.

D. Metode Pengelolaan Limbah Jagung untuk Stok Karbon Tanah

1. Pengomposan

Pengomposan limbah tanaman jagung adalah metode yang umum digunakan untuk mengolah limbah organik tersebut menjadi pupuk organik yang berguna bagi tanaman. Berikut adalah langkah-langkah umum untuk melakukan pengomposan limbah tanaman jagung:

- a. **Pemotongan dan Pemecahan:** Limbah tanaman jagung seperti tangkai dan daun seringkali cukup besar. Sebelum dimasukkan ke dalam tumpukan kompos, potong atau hancurkan limbah tersebut agar mempercepat proses dekomposisi. Pemotongan atau pemecahan juga membantu mengurangi ukuran bahan organik sehingga memudahkan proses aerasi dan pengomposan.
- b. **Pencampuran dengan Bahan Tambahan:** Limbah tanaman jagung dapat dicampur dengan bahan tambahan lainnya untuk memperbaiki **kualitas** kompos. Bahan tambahan seperti rumput kering, daun, jerami, atau sisa-sisa tanaman lainnya dapat digunakan untuk mencapai proporsi yang baik antara karbon dan nitrogen serta memperbaiki tekstur dan sirkulasi udara dalam tumpukan kompos.
- c. **Penyiapan Tempat Pengomposan:** Tempatkan limbah tanaman jagung dan bahan tambahan lainnya dalam tumpukan kompos atau wadah pengomposan. Pastikan tumpukan kompos memiliki akses yang baik terhadap udara, air, dan mikroorganisme pengurai.
- d. **Pemeliharaan Kelembaban dan Ventilasi:** Jaga kelembaban **tumpukan** kompos agar tidak terlalu kering atau terlalu basah. Air dapat ditambahkan secara berkala jika tumpukan terlalu kering, sementara ventilasi yang baik harus dipertahankan untuk memastikan sirkulasi udara yang cukup.
- e. **Pemeliharaan Suhu:** Proses pengomposan menghasilkan panas sebagai produk sampingan dari aktivitas mikroorganisme pengurai. Pastikan tumpukan kompos mencapai suhu **optimal** (biasanya antara 50°C hingga 65°C) untuk mempercepat dekomposisi dan membunuh patogen dan benih gulma yang ada.
- f. **Pengadukan dan Pemutarbalikan:** Aduk atau putar balik tumpukan **kompos** secara berkala untuk memastikan bahwa bahan organik terurai merata dan proses pengomposan berlangsung efisien. Pengadukan juga

membantu memperbaiki sirkulasi udara dan mempercepat pembusukan bahan organik.

- g. **Pemantauan dan Pengujian:** Monitor kondisi tumpukan kompos secara teratur, termasuk suhu, kelembaban, dan aroma. Juga, pastikan bahwa tumpukan kompos tidak terlalu kering **atau** terlalu basah. Pengujian kompos juga bisa dilakukan untuk memastikan bahwa proses pengomposan telah selesai dan kompos telah matang.

Kandungan hara kompos jerami dan tongkol jagung dapat berbeda-beda tergantung pada metode pengolahan dan bahan baku yang digunakan. Berdasarkan hasil analisis, kompos tongkol jagung memiliki kandungan Nitrogen dan Kalium tertinggi, namun mengandung Karbon paling sedikit dibandingkan dengan kompos jerami dan tumpi jagung. Jerami jagung memiliki kandungan C N (%) 18.21, P₂O₅ 2.74, dan K₂O 0.96, sedangkan tongkol jagung memiliki kandungan C N (%) 12.63, P₂O₅ 9.85, dan K₂O 2.96. Tumpi jagung memiliki kandungan C N (%) 20.4, P₂O₅ 3.14, dan K₂O 0.85

2. Biochar

Pengelolaan limbah jagung menjadi biochar adalah salah satu cara yang efektif untuk mengubah limbah organik tersebut menjadi produk bernilai tambah yang dapat digunakan dalam pertanian dan pengelolaan tanah.

Biochar merupakan bahan padatan kaya karbon yang terbentuk melalui proses pembakaran bahan organik atau biomasa tanpa atau dengan sedikit oksigen (pyrolysis) pada temperatur 250-500°C.

Berikut adalah langkah-langkah umum dalam mengelola limbah jagung menjadi biochar:

- a. **Pemotongan dan Pemecahan:** limbah tanaman jagung terutama batang jagung perlu dipotong untuk mempercepat proses konversi menjadi biochar. Ukuran limbah yang lebih kecil akan memungkinkan proses

pirolisis (penguraian termal pada suhu tinggi) menjadi lebih efisien.

- b. **Pengeringan:** Limbah jagung yang telah dipotong atau dihancurkan dapat dikeringkan terlebih dahulu untuk mengurangi kadar airnya. Pengeringan ini dapat dilakukan secara alami dengan menjemurnya di bawah sinar matahari atau menggunakan alat pengering.
- c. **Pirolisis:** Proses pirolisis adalah proses kunci dalam pembuatan biochar. Limbah jagung yang telah dipersiapkan dimasukkan ke dalam reaktor pirolisis yang dipanaskan pada suhu tinggi (biasanya antara 300°C hingga 800°C) dalam suasana yang kurang oksigen. Proses ini mengubah limbah organik menjadi biochar dengan mempercepat dekomposisi dan menghasilkan gas serta uap yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi.
- d. **Pendinginan dan Pemrosesan:** Setelah proses pirolisis selesai, biochar perlu didinginkan dan diproses lebih lanjut untuk memastikan kualitas dan keamanannya. Biochar yang telah diproduksi kemudian dapat diayak atau diolah lebih lanjut untuk menghilangkan material yang tidak terurai atau tidak diinginkan.
- e. **Penyimpanan dan Penggunaan:** Biochar yang telah diproses dapat disimpan dalam wadah yang kedap udara dan digunakan sebagai tambahan tanah atau bahan baku dalam berbagai aplikasi pertanian. Biochar dapat dicampur dengan tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan retensi air, dan mengurangi kerentanan terhadap erosi tanah.

Kandungan nutrisi biochar yang dihasilkan dari tongkol jagung dan batang jagung dapat bervariasi tergantung pada kondisi pirolisis dan komposisi bahan baku. Namun, biochar dari tongkol jagung dan batang jagung terbukti memiliki konsentrasi unsur anorganik yang tinggi, terutama fosfor (P) dan kalium (K), sehingga cocok untuk diaplikasikan pada tanah.

Sebuah studi yang membandingkan sifat-sifat biochar yang dihasilkan dari berbagai jenis biomassa menemukan bahwa biochar tongkol jagung dan batang jagung menghasilkan konsentrasi unsur anorganik yang jauh lebih tinggi, terutama P dan K, sehingga mendukung aplikasi tanah¹. Studi lain mengenai dampak biochar yang berasal dari tongkol jagung terhadap kualitas tanah dan atribut biokimia menemukan bahwa biochar meningkatkan kesuburan tanah dengan meningkatkan sifat fisik, kimia, dan mikrobiologi.

Analisis unsur bahan organik pada kedua bahan baku tersebut serupa, dengan analisis XRF menunjukkan bahwa K merupakan unsur paling melimpah dalam fraksi anorganik tongkol jagung, diikuti oleh fosfor sekitar 0,2% untuk setiap bahan baku. Kadar abu biochar adalah 13,1% untuk biochar tongkol jagung dan 32,4% untuk biochar brangkasan jagung, yang mencerminkan kandungan abu yang lebih tinggi pada bahan baku brangkasan jagung. Biochar yang dihasilkan dari tongkol jagung dan brangkasan jagung memiliki ciri pH netral hingga sedikit basa, yang merupakan ciri khas biochar yang terbuat dari limbah tumbuhan atau hewan. Luas permukaan biochar dapat diabaikan, dan ukuran partikel rata-rata adalah sekitar 500-400 nm, dengan 90% partikel lebih kecil dari 1500 nm. Singkatnya, biochar dari tongkol jagung dan batang jagung dapat menjadi sumber daya berharga untuk meningkatkan kesuburan dan struktur tanah, terutama karena konsentrasi kalium dan fosfornya yang tinggi. Sifat fisik dan kimia biochar, seperti pH dan luas permukaannya, juga dapat mempengaruhi perilakunya di lingkungan tanah.

BAB 4

PEMANFAATAN BIOCHAR PADA BUDIDAYA JAGUNG

A. Konsep Biochar

Produksi dan penggunaan biochar dari berbagai bahan organik memberikan peluang untuk menangkap dan menyerap karbon dari atmosfer sambil memanfaatkan sifat bahan tersebut dalam berbagai aplikasi yang menggunakan bahan alternatif yang bersumber dari fosil. Biochar memiliki sejarah panjang dalam perbaikan lahan dan keberlanjutan produktivitas lahan pertanian.

Biochar telah mendapatkan perhatian sebagai amandemen tanah yang berpotensi meningkatkan kesehatan tanah, produktivitas pertanian, dan juga dapat berkontribusi pada mitigasi perubahan iklim dengan menyimpan karbon dalam tanah. Biochar telah digunakan untuk berbagai keperluan, seperti pembenah tanah, media filtrasi, dan dalam formulasi produk polimer, komponen elektronik, atau sebagai katalis untuk proses industri. Hal ini juga mempunyai manfaat potensial terhadap kualitas air, mengurangi emisi gas rumah kaca dalam tanah, dan mengurangi pencucian unsur hara.

Potensi fitur-fitur biochar memerlukan pemahaman terhadap interaksi kompleks antara biochar dengan reaksi tanah untuk mengembangkan praktik pertanian berkelanjutan dalam produksi dan penerapannya. Interaksi kompleks antara biochar dan proses tanah, yang dipengaruhi oleh jenis tanah, kondisi iklim, dan karakteristik biochar tertentu.

Hal pertama yang perlu diperhatikan adalah biochar harus terbuat dari biomassa, artinya biochar dapat menjadi sumber daya terbarukan apabila produksi biomassa dilakukan secara berkelanjutan dalam jangka panjang. Kedua, bahwa biochar diolah secara termal. Penerapan panas inilah yang mengubah biomassa menjadi biochar. Terakhir, biochar sebagian besar terdiri dari karbon. Meskipun biomassa mentah mengandung sekitar setengah massa oksigen (bila diukur dalam keadaan kering), proses perlakuan panas yang menghasilkan biochar akan menghilangkan sebagian besar oksigen, meninggalkan bahan menghitam yang sebagian besar terdiri dari karbon.

Tabel 4. 1. Konsep biochar berdasarkan suhu pembakaran

Kondisi Pemanasan	Suhu Pemanasan	Karakter yang dipertahankan	Istilah yang digunakan
Rendah	200-300°C	Masih mempertahankan sebagian besar struktur molekulnya (yaitu selulosa dan lignin) serta struktur fisiknya	Biomassa yang mengalami degradasi
Sedang	300-600°C	Masih mempertahankan sebagian besar struktur fisiknya (yaitu bentuk dan konfigurasi sel)	Arang, arang pirolisis lambat
Tinggi	600-1000°C	Struktur (molekuler dan fisik) berubah secara mendasar	Arang pirolisis cepat, Arang aasifikasi

Sifat biochar juga bisa berbeda-beda tergantung jenis bahan bakunya. Hal ini sebagian disebabkan oleh perbedaan kimia antar bahan baku, namun juga disebabkan oleh perbedaan struktur fisik (pada skala mikroskopis) bahan tanaman yang berbeda. Sifat biochar juga dapat dipengaruhi oleh karakteristik parameter pengolahan dan peralatan. Pengendalian suhu, laju pemanasan, waktu penahanan, pelepasan gas, penggunaan uap atau gas pembawa lainnya, dan sistem penanganan fisik semuanya dapat berdampak pada kualitas dan perilaku produk

akhir. Akibat dari semua variabel ini, sifat biochar bisa sangat bervariasi. Ia dapat bersifat hidrofobik atau hidrofilik, dapat memiliki luas permukaan yang bervariasi, reaktivitas yang berbeda, karakteristik kekuatan yang berbeda, dan sifat listrik yang bervariasi. Spesifikasi biochar dapat dipertimbangkan ketika memilih biochar, termasuk bahan baku, suhu proses, distribusi ukuran partikel, deskripsi bahan, kepadatan, luas permukaan spesifik, kadar air, kandungan hidrokarbon, kandungan karbon tetap, kandungan nitrogen, dan bahan tambahan apa pun.

Konsep biochar melibatkan penggunaan material karbon tersebut dalam tanah sebagai cara untuk meningkatkan kesuburan tanah, kesehatan tanaman, dan produktivitas. Dengan kebijakan yang tepat, sosialisasi pengetahuan, dan peningkatan kapasitas, biochar dapat memainkan peran penting dalam mengatasi perubahan iklim dan mendorong praktik pengelolaan lahan berkelanjutan.

Dalam sistem produksi jagung, penggunaan biochar dapat memberikan beberapa manfaat:

1. Peningkatan dan perbaikan kesuburan tanah

Kesuburan tanah adalah faktor kunci dalam meningkatkan produksi jagung dan menjaga keberlanjutan sistem pertanian secara keseluruhan dan menghadapi tantangan lingkungan seperti perubahan iklim dan degradasi lahan. Ini juga membantu menjaga keseimbangan ekosistem pertanian dan memastikan keberlanjutan produksi pangan untuk masa depan.

Penerapan biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah secara keseluruhan. Dengan meningkatkan kandungan bahan organik dalam tanah dan meningkatkan aktivitas mikroba tanah, biochar dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman, serta meningkatkan struktur tanah dan retensi air. Kesuburan tanah yang tinggi sering kali berhubungan dengan struktur tanah yang baik. Tanah yang memiliki struktur yang baik memungkinkan akar tanaman untuk menembus tanah

dengan mudah, mengakses nutrisi dan air, serta menyediakan ruang bagi mikroorganisme tanah yang bermanfaat.

2. Penyediaan Nutrisi dan Menyimpan Nutrisi

Salah satu kontribusi utama biochar terhadap penyediaan nutrisi adalah kemampuannya untuk menyimpan nutrisi tanah. Biochar memiliki struktur yang berpori-pori dan permukaan yang besar, yang memungkinkannya menyerap dan menyimpan nutrisi seperti nitrogen, fosfor, dan kalium, serta unsur hara mikro. Dengan menyimpan nutrisi ini, biochar dapat bertindak sebagai reservoir nutrisi yang tersedia untuk tanaman selama periode waktu yang lebih lama. Seperti penyerapan nitrogen dimana biochar menyerap dan mempertahankan nitrogen dalam bentuk yang lebih stabil, mencegah kehilangan nutrisi akibat erosi, pencucian, atau volatilisasi.

3. Mengurangi kekeringan tanah dan meningkatkan retensi air

Biochar dapat meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air, sehingga mengurangi risiko kekeringan tanah. Dengan meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman, biochar juga dapat membantu meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman. Menurut FAO tanah dengan kandungan bahan organik tinggi memiliki kemampuan menyimpan air yang lebih besar (FAO, 2015). Tanaman jagung membutuhkan air yang cukup untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Kesuburan tanah yang baik dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk meresap dan menyimpan air, sehingga tanaman jagung memiliki akses yang lebih baik terhadap pasokan air, terutama selama periode kekeringan. Retensi air dalam tanah sangat penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman jagung, diantaranya:

- a. **Pertumbuhan Vegetatif:** Tanaman jagung memerlukan air untuk pertumbuhan vegetatif yang optimal, termasuk pembentukan daun dan batang yang kuat. Kekurangan

air dapat menghambat pertumbuhan vegetatif, mengakibatkan tanaman jagung menjadi kurus dan rentan terhadap stres.

- b. **Pembentukan Tongkol:** Retensi air yang cukup dalam tanah juga penting untuk pembentukan tongkol pada tanaman jagung. Kekurangan air selama fase pembentukan tongkol dapat mengurangi jumlah dan ukuran tongkol, serta kualitas biji yang dihasilkan.
- c. **Fotosintesis:** Proses fotosintesis, di mana tanaman menggunakan air dan karbon dioksida untuk menghasilkan glukosa dan oksigen, sangat penting untuk pertumbuhan tanaman jagung. Kekurangan air dapat mengganggu proses fotosintesis, menghambat produksi karbohidrat yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman.
- d. **Metabolisme Tanaman:** Air juga merupakan komponen penting dalam berbagai proses metabolik dalam tanaman jagung. Ini termasuk transportasi nutrisi dan mineral dari tanah ke sel-sel tanaman, serta pengelolaan suhu tubuh tanaman untuk menghindari stres panas.
- e. **Resistensi Terhadap Stres Lingkungan:** Tanaman jagung yang **memiliki** akses terbatas terhadap air lebih rentan terhadap stres lingkungan seperti kekeringan. Kekurangan air dapat mengakibatkan tanaman jagung menjadi layu, mengganggu keseimbangan hormonal, dan meningkatkan risiko serangan penyakit dan hama.
- f. **Produktivitas dan Hasil Panen:** Ketersediaan air yang cukup dalam tanah sangat penting untuk mencapai produktivitas dan hasil panen yang optimal. Tanaman jagung yang mendapat pasokan air yang cukup cenderung menghasilkan tongkol yang lebih besar dan lebih banyak biji, meningkatkan hasil panen keseluruhan.

4. Mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia

Dengan meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi dan memperbaiki kesuburan tanah, biochar dapat membantu mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia sintetis. Hal ini dapat mengurangi biaya produksi, serta dampak negatif lingkungan dari penggunaan pupuk kimia yang berlebihan.

5. Kesehatan tanaman yang lebih baik

Tanaman yang tumbuh di tanah subur cenderung memiliki kesehatan yang lebih baik dan lebih tahan terhadap penyakit dan serangan hama. Tanaman jagung yang sehat dan tahan terhadap stres lingkungan memiliki potensi untuk menghasilkan hasil panen yang lebih tinggi.

6. Peningkatan Produktivitas

Dengan ketersediaan nutrisi yang memadai, retensi air yang baik, dan kesehatan tanaman yang optimal, kesuburan tanah secara langsung berkontribusi pada peningkatan produktivitas pertanian, termasuk produksi jagung. Tanah yang subur mampu mendukung pertumbuhan yang kuat dan hasil yang melimpah.

7. Pengurangan erosi tanah

Budidaya jagung kebanyakan diusahakan pada lahan kering dengan topografi bergelombang. Dengan imput kimia yang tinggi menyebabkan terjadi dispersi liat yang menyebabkan partikel tanah terlepas dari agregat tanah. Kondisi ini menyebabkan kejadian erosi yang tinggi yang diperparah dengan karakteristik lahan yang bergelombang. Tanah yang subur cenderung lebih stabil dan kurang rentan terhadap erosi. Dengan demikian, meningkatkan kesuburan tanah juga dapat membantu mengurangi erosi tanah, yang dapat mengurangi hilangnya lapisan tanah subur dan mempertahankan produktivitas lahan pertanian jangka panjang.

Biochar memiliki kemampuan untuk meningkatkan retensi air dan nutrisi dalam tanah. Hal ini dapat meningkatkan kesuburan tanah dan ketersediaan nutrisi bagi tanaman jagung.

8. Pengendalian Pencemaran Tanah

Biochar dapat mengikat logam berat dan bahan kimia organik dalam tanah, sehingga mengurangi risiko kontaminasi tanah dan air tanah di area pertanian.

9. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca

Penggunaan biochar dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dengan menyimpan karbon dalam tanah dalam jangka waktu yang lama. Proses pembuatan biochar juga dapat menghasilkan bio-energi yang dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

10. Penyediaan Habitat Mikroba Tanah

Biochar dapat berperan sebagai habitat bagi mikroorganisme tanah yang bermanfaat. Ini dapat meningkatkan aktivitas biologis dalam tanah, yang pada gilirannya meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas pertanian.

11. Peningkatan Ketahanan Tanaman terhadap Stres Lingkungan

Penggunaan biochar dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan seperti kekeringan atau banjir. Ini karena biochar dapat meningkatkan struktur tanah, memperbaiki retensi air, dan meningkatkan kapasitas tanah untuk menyimpan nutrisi.

Dalam sistem produksi jagung, biochar dapat diterapkan dengan mencampurkannya langsung ke dalam tanah pada saat penanaman atau dengan menerapkan dalam bentuk pupuk padat. Namun, penting untuk mencatat bahwa efek biochar pada tanah dapat bervariasi tergantung pada jenis biochar, sumber biomassa, dan kondisi tanah tempat itu diterapkan. Biochar telah diakui karena kemampuannya dalam meningkatkan retensi air tanah, menyediakan habitat bagi mikroorganisme tanah yang bermanfaat, dan mengurangi laju

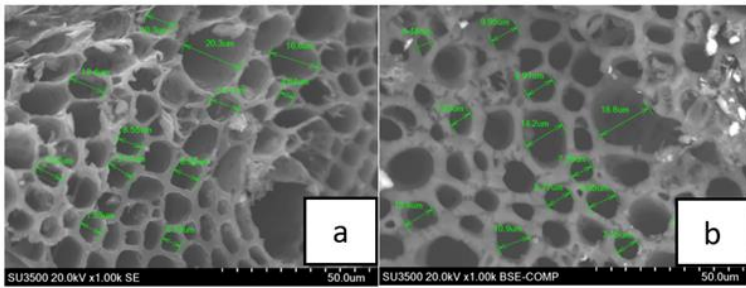
degradasi tanah. Selain itu, biochar juga memiliki potensi untuk menyimpan karbon dalam tanah dalam jangka waktu yang lama, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan memperbaiki keseimbangan karbon di atmosfer.

Dalam konteks budidaya jagung, biochar dapat diterapkan secara langsung ke tanah sebagai peningkat kesuburan tanah. Hal ini membantu meningkatkan struktur tanah, menyediakan nutrisi penting, dan meningkatkan ketersediaan air bagi tanaman jagung. Selain itu, biochar juga dapat membantu mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia dan air irigasi, sehingga mengurangi dampak negatif pertanian konvensional terhadap lingkungan.

Penerapan biochar dalam budidaya jagung berbasis offset karbon merupakan upaya untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih berkelanjutan, di mana hasil yang tinggi dapat dicapai tanpa mengorbankan lingkungan. Dengan memahami definisi dan konsep biochar ini, petani dapat memanfaatkannya secara efektif dalam meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan usaha tani jagung mereka.

B. Manfaat dan Potensi Penggunaan Biochar untuk Offset Karbon

Biochar pertama kali digunakan oleh suku-suku di lembah Amazon sebagai bahan pembenah tanah. Biochar terutama terdiri dari karbon, diserap dari atmosfer dalam proses fotosintesis, biochar sangat berpori dengan permukaan yang dipenuhi ribuan pori-pori. Masing-masing pori-pori ini menyumbang luas permukaan internal terhadap jumlah total. Pori-pori ini dan luas permukaan yang besar bahkan dalam jumlah kecil dari biochar memungkinkan kemampuan untuk menarik, menyerap, dan menahan air dan senyawa terlarut seperti fosfor dan nitrogen, serta logam seperti timbal dan kadmium.



Gambar 4. 1. Pori-pori biochar dari tongkol jagung: a. Pori biochar asli, b. pori biochar+NPK

Biochar dapat digunakan sebagai bahan pembenah tanah yang berpotensi meningkatkan hasil, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, menurunkan ketahanan pentasi tanah, meningkatkan pH, meningkatkan penyerapan unsur hara dan mengurangi emisi dinitrogen oksida. Bila jumlah dan jenis yang tepat diterapkan pada tanah, hal ini dapat memulihkan limpasan kelebihan air dan unsur hara sekaligus mempertahankan penyerapan tanaman selama kondisi kering. Dengan bukaan pori yang banyak dan luas permukaan bagian dalam yang luas, biochar menyediakan substrat untuk pertumbuhan mikroba serta untuk mengikat sistem akar, sebagai "reservoir" untuk menyimpan kelembapan dan nutrisi. Pemilihan jenis biochar sangatlah penting. Biochar dengan luas permukaan spesifik (SSA) yang tinggi yang diaplikasikan pada tanah dengan kecepatan tinggi, dapat mengikat herbisida dan pestisida sehingga membuatnya tidak efektif.

Potensi biochar untuk penyeimbangan karbon terletak pada kemampuannya menyerap karbon di dalam tanah, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan meningkatkan kesuburan tanah. Dengan menggunakan biochar sebagai bahan pembenah tanah, kita dapat menciptakan penyerap karbon yang dapat membantu mitigasi perubahan iklim sekaligus meningkatkan produktivitas pertanian. Selain itu, penggunaan

biochar dapat menghasilkan kredit karbon, yang memberikan insentif finansial untuk produksi dan penggunaannya.

Biochar memiliki beberapa manfaat dan potensi dalam penyeimbangan karbon. Beberapa manfaat tersebut antara lain:

1. Penyerapan karbon: Biochar dapat menyimpan karbon di dalam tanah dalam jangka waktu lama, sehingga berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca.
2. Meningkatkan kesuburan tanah: Biochar dapat meningkatkan kandungan karbon dalam tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan retensi unsur hara.
3. Mengurangi emisi gas rumah kaca: Dengan menyimpan karbon di dalam tanah, biochar dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca, khususnya di sektor pertanian.
4. Meningkatkan produktivitas tanaman: Biochar dapat meningkatkan kesuburan tanah, sehingga menghasilkan hasil panen yang lebih tinggi dan serapan unsur hara yang lebih baik.
5. Mengurangi limbah: Biochar dapat diproduksi dari limbah pertanian, sehingga mengurangi jumlah limbah yang seharusnya dibuang ke tempat pembuangan sampah.
6. Kredit karbon: Potensi penyerapan karbon dari biochar dapat menghasilkan kredit karbon, yang memberikan insentif finansial untuk produksi dan penggunaannya.

BAB

5

TEKNOLOGI PRODUKSI DAN PEMILIHAN BIOCHAR

A. Proses Pembuatan Biochar

Biochar dibuat menggunakan “proses termal”. Artinya, biochar merupakan hasil pirolisis biomassa menggunakan suhu tinggi dalam kondisi anaerob (kurang oksigen) dalam alat seperti oven yang disebut "retort". Pembuatan biochar dapat dilakukan dengan proses kering (roasting) atau proses basah (hydrothermal process). Biasanya, pemrosesan kering lebih murah, namun pemrosesan basah patut dipertimbangkan, terutama jika bahan baku biomassa memiliki kadar air yang sangat tinggi. Proses pembakaran tanpa menghasilkan asap merupakan persyaratan produksi biochar untuk skema karbon kredit dalam bentuk offsetting karbon. Oleh karena itu proses pengeringan biomassa sangat penting sebelum pembakaran dilakukan. Biomassa adalah produk alami yang mengandung 5-60% kelembaban menurut beratnya. Biomassa dapat dikeringkan menggunakan radiasi matahari untuk menghilangkan kelembapan. Teknik pengeringan ini praktis dan aman bagi lingkungan. Pengeringan sisa tanaman pertanian di bawah sinar matahari di udara terbuka yang seringkali menghilangkan 10–15% kadar air (Nzihou, 2020). Biomassa dengan kadar air rendah menghasilkan asap yang sedikit pada saat dibakar. Biasanya, kandungan air yang direkomendasikan kurang dari 20%.



Gambar 5. 1. Proses pengeringan biomassa tongkol jagung menggunakan sinar matahari

Selama proses termal, sebagian besar massa kering hilang dari biomassa, dan hasil panen dapat berkisar dari 90% hingga 10%. Suhu proses dapat bervariasi dari 200 hingga lebih dari 1000°C. Proses ini dapat dilakukan menggunakan berbagai metode, salah satu metode yang populer adalah metode pyrolysis, yang melibatkan pemanasan limbah organik dalam keadaan kering dan kondisi kadar oksigen rendah. Biochar dapat diproduksi menggunakan berbagai metode, salah satu metode yang populer adalah metode pyrolysis, yang melibatkan pemanasan limbah organik dalam keadaan kering dan kondisi kadar oksigen rendah. Proses ini dapat dilakukan menggunakan berbagai alat, seperti retort kiln, mud furnace, atau kiln tangki. Pembuatan biochar dapat menjadi sumber daya yang penting untuk mengurangi kehilangan hara, memperbaiki kesuburan tanah, dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Biochar dapat digunakan sebagai amendmen tanah, yang dapat membantu memperbaiki kesuburan tanah dan meningkatkan rendahnya hara. Namun, ditingkat petani produksi biochar dapat dilakukan dengan menggunakan metode: a. Pembakaran menggunakan metode kiln drum dengan bahan bakar kayu (menghasilkan asap); b. pembakaran menggunakan TLUD (tanpa asap); c. pembakaran menggunakan kontiki (tanpa asap) (Gambar 5.2.)



Gambar 5. 2. Proses pembakaran tongkol jagung dalam pembuatan biochar: a. Pembakaran menggunakan metode kiln drum; b. Pembakaran menggunakan TLUD; c. Pembakaran menggunakan kontiki

B. Kriteria Pemilihan Biochar yang Tepat untuk Budidaya Jagung

Pada umumnya, biochar yang tepat untuk budidaya jagung adalah yang memiliki sifat kimia, fisik, dan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan tanah dan jagung. Perlu diperhatikan bahwa kualitas biochar dapat berbeda-beda berdasarkan sumber bahan baku dan proses pembuatan, sehingga perlu dilakukan uji kualitas sebelum digunakan untuk budidaya jagung.

Kriteria pemilihan biochar yang tepat untuk budidaya jagung meliputi:

1. **Sifat kimia:** Biochar dengan sifat kimia yang sesuai dapat membantu meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi kehilangan hara.
2. **Kadar amonium:** Biochar yang diperkaya amonium dapat meningkatkan **pertumbuhan** tanaman jagung dan memperbaiki kemantapan agregat tanah.
3. **Pengaruh pH:** Biochar dapat mempengaruhi pH tanah, sehingga perlu **diperhatikan** untuk menjamin kesuburan tanah yang sesuai dengan jagung.
4. **Kadar kadar nutrisi:** Biochar yang mengandung nutrisi seperti fosfor, potasium, dan magnesium dapat membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung.
5. **Kadar karbon:** Biochar yang mengandung karbon tinggi dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca.

6. **Kadar sifat fisik:** Biochar dengan sifat fisik yang sesuai, seperti kemantapan dan kuat sampah, dapat membantu meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi kehilangan hara.

Sifat fisikokimia biochar memainkan peran penting karena berdampak langsung pada efektivitas dan kesesuaiannya untuk berbagai aplikasi. Kandungan C yang tinggi, stabilitas termal, dan sifat keras kepala merupakan sifat penting yang berkontribusi terhadap kemampuan biochar untuk menyerap C dalam tanah dalam jangka waktu lama. Pemahaman komprehensif dan optimalisasi sifat-sifat ini dapat secara signifikan meningkatkan efektivitas biochar sebagai penyerap C yang andal dan berjangka panjang. Berbagai faktor, termasuk bahan baku yang digunakan, kondisi pirolisis, dan proses pasca pengolahan, mempengaruhi sifat fisikokimia biochar (Li & Tasnady, 2023).

1. Kandungan Karbon

Biochar terutama terdiri dari C, yang menyumbang sebagian besar komposisinya, biasanya berkisar antara 50% hingga hampir 90% beratnya. Ketika diperoleh dalam kondisi pirolisis yang sama, kandungan C pada biochar sangat erat kaitannya dengan bahan baku yang digunakan untuk produksinya. Biomassa jagung dan kelapa sawit merupakan biomassa yang sangat besar di Indonesia. Kandungan karbon biochar brangkasan jagung (62,93%) (Zielińska et al., 2015) tongkol jagung (70,25%), tandan kosong kelapa sawit 65,84 %, tandan kosong kelapa sawit 59,85 % (Sukmawati, 2020a). Adapun perbedaan kandungan karbon disebabkan oleh variasi kandungan selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Karbonisasi ditingkatkan melalui dekomposisi struktur lignoselulosa dan pembentukan struktur aromatik selama pirolisis.

Peningkatan kandungan C pada suhu pirolisis yang tinggi dapat dikaitkan dengan dekomposisi bahan organik dan penguapan unsur-unsur seperti oksigen (O) dan hidrogen (H). Ketika suhu pirolisis meningkat, pelepasan

gugus fungsi permukaan organik, tar, dan yang mengandung O-/H terjadi pada tingkat yang lebih tinggi, sementara C mengalami dekomposisi termal intensif, menghasilkan aromatisasi. Namun perlu diperhatikan bahwa pengaruh suhu pirolisis yang tinggi terhadap kandungan C biochar bervariasi tergantung pada jenis bahan bakunya. Proses pirolisis $<500^{\circ}\text{C}$ menghasilkan kandungan karbon yang tinggi pada biomassa jagung.

Kandungan C yang tinggi pada biochar sangat penting untuk potensi penyerapan C karena beberapa alasan, diantaranya:

- a. Memungkinkan biochar berfungsi sebagai reservoir stabil bagi C. Ketika diterapkan pada tanah, biochar bertindak sebagai penyerap, yang secara efektif menangkap dan menahan C dalam jangka waktu lama, mencegah pelepasannya kembali ke atmosfer sebagai CO_2 .
- b. Kandungan C yang melimpah pada biochar memungkinkan tingkat kejenuhan C yang lebih tinggi di dalam tanah. Ketika biochar ditambahkan ke dalam tanah, ia memberikan tambahan C yang dapat melebihi kapasitas menahan C alami tanah. Surplus C ini dapat diserap secara efektif, sehingga berkontribusi terhadap peningkatan stok C tanah secara keseluruhan dan mengurangi peningkatan bersih CO_2 di atmosfer.
- c. Kandungan C yang tinggi dalam biochar, dikombinasikan dengan sifatnya yang bandel, memungkinkannya bertahan di dalam tanah untuk waktu yang lama tanpa kehilangan C yang signifikan. Umur panjang ini memastikan bahwa C yang diasingkan tetap tersimpan di dalam tanah, sehingga memberikan solusi yang andal dan berjangka panjang untuk penyerapan C.

2. Rasio Atom H/C dan O/C

Saat ini lahan mengalami degradasi yang menurunkan kesuburan tanah, dimana kandungan C-Organik rata-rata $<2\%$. Padahal tanah yang subur adalah yang mengandung C-

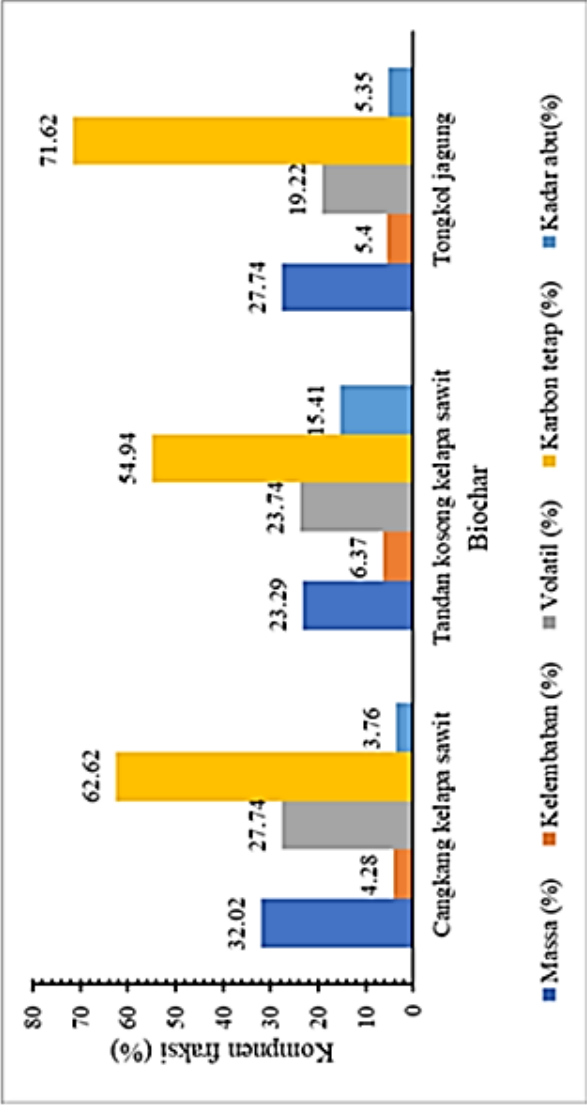
organik >2%. Untuk itu dibutuhkan bahan organik yang memiliki tingkat kestabilan yang tinggi dan lebih persisten di dalam tanah. Kendala penggunaan bahan organik dari kompos kurang diminati secara luas karena mudah hilang sehingga dibutuhkan penambahan bahan organik secara terus menerus, sehingga membutuhkan tenaga kerja dan biaya yang cukup besar. Oleh karena itu biochar menjadi pilihan penambahan bahan organik, karena lebih persisten di dalam tanah. Namun demikian karakter ini tergantung dari proses pirolisis dan jenis bahan baku.

Rasio atom H/C dan O/C sering digunakan sebagai indikator stabilitas biochar. Peningkatan suhu pirolisis menyebabkan hilangnya unsur-unsur rentan seperti O dan H secara terus-menerus melalui dehidrasi dan dekarboksilasi. Akibatnya, biochar dengan stabilitas termal tinggi menunjukkan rasio atom H/C dan O/C yang rendah, yang menunjukkan tingkat karbonisasi dan aromatisitas yang tinggi. Peningkatan struktur aromatik biochar meningkatkan ketahanannya terhadap reaksi kimia dan degradasi mikroba di tanah, yang difasilitasi oleh pembentukan permukaan yang sangat hidrofobik. Rasio atom O/C dapat digunakan untuk memperkirakan waktu paruh biochar dalam tanah, diantaranya:

- a. Biochar dengan rasio atom O/C < 0,2 diperkirakan memiliki waktu paruh melebihi 1000 tahun.
- b. Biochar dengan rasio O/C berkisar antara 0,2 hingga 0,6 ditemukan memiliki waktu paruh antara 100 dan 1000 tahun.
- c. Sebaliknya, biochar dengan rasio O/C > 0,6 kemungkinan besar akan terdegradasi setengahnya dalam waktu kurang dari 100 tahun. Suhu pirolisis yang lebih tinggi kondusif untuk produksi biochar dengan peningkatan stabilitas termal dan kimia.

3. Memperbaiki karbon dan zat volatil

Analisis proksimat biochar adalah cara langsung untuk mengevaluasi distribusi produk biochar dalam kondisi pemanasan tertentu. ASTM (American Society for Testing and Materials) mendefinisikan analisis proksimat sebagai kategorisasi produk menjadi empat kelompok . Kelompok-kelompok ini meliputi: (1) kadar air, (2) zat volatil, yang terdiri dari gas dan uap yang dilepaskan selama pirolisis, (3) karbon tetap (FC), yang mewakili fraksi biochar yang tidak mudah menguap, dan (4) abu, residu anorganik yang tersisa setelah pembakaran. Kandungan fraksi biochar tandan kosong kelapa sawit, cangkan kelapa sawit dan tongkol jagung sebagai biomassa terbesar di Indonesia disajikan pada Gambar 5.3. (Sukmawati, 2020a).



Gambar 5. 3. Persentase fraksi pada cangkang dari tongkol jagung dan tandan kosong kelapa sawit serta tongkol jagung hasil pirolisis pada kisaran suhu 300-400°C (Sukmawati, 2020a)

Karbon tetap (FC) sangat erat kaitannya dengan kandungan C yang stabil, menyoroti relevansinya sebagai indikator lingkungan untuk negatiftas C biochar. Hasil FC yang lebih tinggi menunjukkan potensi biochar yang lebih besar sebagai alat mitigasi perubahan iklim.

Zat volatil (VM) menunjukkan tren terbalik karena peningkatan emisi VM dari biochar berhubungan dengan kandungan C relatif lebih tinggi. Nilai FC dan VM masing-masing digunakan untuk memperkirakan fraksi biochar yang bandel dan labil. Selain itu, rasio VM/FC dan VM/(FC + VM) berfungsi sebagai metrik untuk menilai stabilitas biochar. Analisis proksimat dapat menjadi alternatif terhadap rasio O/C dan H/C dalam mengevaluasi stabilitas biochar.

4. Sifat Fisikokimia Lainnya dan Parameter yang Relevan dengan Penyerapan Karbon

Beberapa sifat fisikokimia dan parameter biochar lainnya, meliputi ukuran partikel, luas permukaan, porositas, distribusi ukuran pori, pH, dan kapasitas tukar kation (KTK), memainkan peran penting dan secara tidak langsung mempengaruhi potensi penyerapan C.

a. Ukuran Partikel dan Luas Permukaan

Potensi penyerapan C dari biochar sangat dipengaruhi oleh ukuran partikel dan luas permukaannya. Ukuran partikel yang lebih kecil (diameter kurang dari 0,045 mm) dan luas permukaan yang lebih besar (melebihi 100m² / g) menawarkan banyak keuntungan.

Luas permukaan biochar memberikan pengaruh terhadap aktivitas mikroba dan siklus unsur hara di dalam tanah. Mikroorganisme tanah dapat menempel pada permukaan biochar, sehingga meningkatkan kolonisasi dan aktivitas mikroba. Aktivitas mikroba ini berkontribusi terhadap dekomposisi bahan organik dan pembentukan senyawa C yang stabil, sehingga mendorong penyerapan C dalam jangka panjang. Biochar

dapat bertindak sebagai substrat dan menyediakan habitat bagi mikroorganisme, meningkatkan aktivitasnya dan mendorong penguraian bahan organik. Hal ini dapat mengakibatkan stimulasi komunitas mikroba dan peningkatan tingkat pergantian C-organik, yang menyebabkan mineralisasi karbon tanah lebih besar.

b. Distribusi Porositas dan Ukuran Pori

Porositas dalam biochar mengacu pada luasnya ruang kosong atau pori-pori di dalam strukturnya, sedangkan distribusi ukuran pori berkaitan dengan kisaran ukuran pori yang ada. Karakteristik ini mempunyai implikasi yang signifikan terhadap sekuestrasi C. Kehadiran porositas tinggi dalam biochar menawarkan beberapa keuntungan untuk sekuestrasi C, diantaranya:

- 1) memperkuat luas permukaan yang tersedia untuk interaksi dengan senyawa yang mengandung C, memfasilitasi adsorpsi dan retensi C. Kemampuan ini mengubah biochar menjadi reservoir C organik di dalam tanah;
- 2) sifat biochar yang berpori menciptakan habitat dan tempat kolonisasi bagi mikroorganisme yang menguntungkan.

Distribusi ukuran pori dalam biochar selanjutnya berkontribusi terhadap potensi penyerapan C. Ukuran pori yang berbeda mengakomodasi adsorpsi senyawa dan molekul yang berbeda.

- 1) Mikropori, ditandai dengan diameter di bawah 2 nm, menunjukkan kemampuan luar biasa dalam menyerap GRK seperti CO_2 , CH_4 , dan N_2O .
- 2) Mesopori, berkisar antara 2 hingga 50 nm, memfasilitasi adsorpsi air, bahan organik, dan nutrisi. Kemampuan menahan air dan mengawetkan C organik terlarut meningkatkan stabilitas dan persistensi C di dalam tanah. Selain itu, mesopori menciptakan kondisi yang menguntungkan bagi

kolonisasi mikroorganisme yang menguntungkan, sehingga meningkatkan aktivitas mereka dan memperkaya proses siklus C tanah.

- 3) Makropori, dengan diameter melebihi 50 nm, memungkinkan pergerakan udara, air, dan unsur hara ke seluruh profil tanah. Peningkatan aerasi tanah dan infiltrasi air secara konsekuen menguntungkan pertumbuhan tanaman dan aktivitas mikroba, secara tidak langsung mempengaruhi proses penyerapan C.

Kombinasi ukuran pori-pori yang bervariasi dalam biochar mengoptimalkan penangkapan, retensi, dan siklus C yang efisien dalam ekosistem tanah. Karbon dioksida memfasilitasi adsorpsi gas rumah kaca, menyediakan habitat yang kondusif bagi mikroorganisme yang bermanfaat, dan berkontribusi terhadap stabilitas senyawa C dalam jangka panjang.

5. pH Biochar dan Kapasitas Tukar Kation (KTK)

PH dan kapasitas tukar kation (KTK) biochar mempunyai pengaruh besar terhadap interaksinya dengan lingkungan tanah, bahan organik, dan tanaman. PH tanah merupakan faktor penting yang mempengaruhi dinamika C dalam tanah, sedangkan KTK mengacu pada kemampuan menarik, menahan, dan menukar kation (ion bermuatan positif) dengan lingkungan tanah sekitarnya. Biochar biasanya menunjukkan nilai pH yang tinggi, biasanya melebihi 8,0, yang menunjukkan sifat basanya.

Salah satu mekanisme kunci dimana pH biochar mempengaruhi penyerapan C adalah melalui dampaknya terhadap aktivitas mikroba tanah. Mikroorganisme tanah memainkan peran penting dalam penguraian bahan organik dan siklus C dalam ekosistem. PH biochar dapat mempengaruhi komposisi dan aktivitas komunitas mikroba di dalam tanah. Biochar alkali dapat menciptakan lingkungan yang mendukung populasi mikroba tertentu, yang menyebabkan perubahan laju dekomposisi bahan organik

dan stabilisasi senyawa C. Hal ini dapat mengakibatkan peningkatan penyerapan C dari waktu ke waktu.

BAB

6

MANFAAT DAN KEUNTUNGAN PENGUNAAN BIOCHAR

Manfaat dan keuntungan penggunaan biochar dalam budidaya jagung memberikan argumen yang kuat untuk mengintegrasikannya ke dalam praktik pertanian berkelanjutan. Dengan memahami dan memanfaatkan manfaat tersebut, petani dapat mencapai hasil yang lebih baik sambil mendukung upaya mitigasi perubahan iklim dan menjaga kesehatan lingkungan.

A. Peningkatan Kesuburan Tanah dan Produktivitas Tanaman

1. Peningkatan Kesuburan dan kualitas tanah

Biochar memiliki struktur yang porus dan stabil secara biologis, sehingga dapat meningkatkan retensi air dan nutrisi dalam tanah. Hal ini membantu meningkatkan kesuburan tanah secara keseluruhan, yang pada gilirannya meningkatkan produktivitas tanaman jagung. Selain penyerapan karbon, penerapan biochar pada tanah pertanian memperbaiki beberapa karakteristik tanah seperti kapasitas retensi air dan unsur hara, struktur tanah, bahan organik tanah dan aktivitas komunitas mikroba tanah, yang juga meningkatkan hasil panen. Biochar membantu meningkatkan struktur dan porositas tanah, meningkatkan perkolasi air, infiltrasi akar tanaman, dan pertukaran gas di dalam tanah. Hal ini menciptakan lingkungan yang lebih baik untuk pertumbuhan mikroba tanah yang bermanfaat dan meningkatkan aktivitas biologis tanah secara keseluruhan.

2. Penyimpanan Karbon dalam Tanah

Salah satu keuntungan utama penggunaan biochar adalah kemampuannya untuk menyimpan karbon dalam tanah dalam jangka waktu yang lama. Dengan mengunci karbon dalam tanah, biochar membantu mengurangi konsentrasi karbon di atmosfer, yang merupakan salah satu cara untuk mengatasi perubahan iklim.

3. Peningkatan Produktivitas Tanaman

Dengan meningkatkan kesuburan tanah, ketersediaan nutrisi, dan kondisi lingkungan tumbuh, penggunaan biochar secara efektif dapat meningkatkan produktivitas tanaman jagung. Tanaman jagung yang ditanam dalam tanah yang diperkaya dengan biochar cenderung memiliki pertumbuhan yang lebih baik, hasil yang lebih besar, dan kualitas yang lebih baik.

B. Reduksi Ketergantungan pada Pupuk Kimia

Penggunaan pupuk kimia secara intensif telah menyebabkan rendahnya efisiensi pupuk, penurunan kualitas tanah dan polusi lingkungan, misalnya pengasaman tanah, eutrofikasi air, polusi nitrat air tanah, dan peningkatan emisi gas rumah kaca.

Penggunaan teknologi karbonisasi biomassa untuk mengubah jerami dan limbah pertanian lainnya menjadi biochar dapat mengubah struktur tanah, memperbaiki sifat fisikokimia tanah, dan mendorong pertumbuhan tanaman dan peningkatan hasil, sekaligus memberikan cara baru untuk mengatasi masalah degradasi tanah dan budidaya tanaman. Banyak penelitian telah menunjukkan bahwa biochar dapat mempengaruhi nutrisi (N, P, K, dll.) untuk tanaman melalui pelepasan (nutrisi biochar) dan adsorpsi (nutrisi tanah dan pupuk).

Biochar mampu menyerap NH_4^+ dan NO_3^- di dalam tanah, mengurangi hilangnya N akibat pencucian, mendorong transformasi nitrogen organik tanah, dan meningkatkan ketersediaan nitrogen dalam tanah. Biochar juga dapat menyerap PO_4^- dalam larutan tanah, mengurangi pencucian

fosfor yang tersedia dalam tanah dan persaingan koloid oksida Al dan Fe dalam tanah untuk fiksasi keadaan tertutup hilangnya fosfor yang tersedia.

Penggantian pupuk kimia dengan pupuk organik telah diperkenalkan sebagai upaya alternatif untuk meningkatkan kualitas tanah dan melindungi lingkungan. Mengganti pupuk kimia dalam jumlah sedang dengan biochar dapat memperbaiki struktur fisik tanah, meningkatkan produktivitas padi, dan mengurangi masukan pupuk. Dengan meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam tanah, biochar dapat membantu mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia. Ini tidak hanya mengurangi biaya produksi bagi petani, tetapi juga mengurangi risiko pencemaran lingkungan akibat penggunaan pupuk kimia yang berlebihan.

C. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca dan Offset Karbon

FAO prihatin dengan dampak perubahan iklim terhadap pertanian dan peran pertanian dalam mitigasi perubahan iklim. Secara historis, konversi penggunaan lahan dan pengolahan tanah telah menjadi sumber penting gas rumah kaca (GRK) ke atmosfer yang diperkirakan bertanggung jawab atas sepertiga emisi GRK. Pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) dan offset karbon adalah dua strategi utama dalam upaya untuk mengurangi dampak perubahan iklim.

1. Pengurangan Emisi Gas Rumah Kaca (GRK)

Biochar adalah bahan padat turunan biomassa yang diperoleh terutama melalui pirolisis, suatu proses termokimia yang diselesaikan dalam kondisi kekurangan oksigen suhu tinggi. Dalam beberapa tahun terakhir, biochar telah muncul sebagai bahan amandemen tanah yang menjanjikan karena sifat fisikokimia dan interaksinya yang unik dengan sistem tanah. Ketika dimasukkan ke dalam tanah, biochar meningkatkan kesuburan tanah, retensi nutrisi, dan kapasitas menahan air. Strukturnya yang berpori menyediakan habitat bagi mikroorganisme yang bermanfaat, meningkatkan kesehatan tanah dan mendorong

pertumbuhan tanaman [17]. Selain itu, biochar menunjukkan struktur molekul luar biasa yang ditandai dengan stabilitas kimia dan mikroba yang tinggi. Sebuah studi jangka panjang penting yang dilakukan selama delapan tahun menyelidiki dekomposisi biochar yang berasal dari ryegrass menggunakan analisis ^{14}C spesifik senyawa. Temuan ini menunjukkan tingkat dekomposisi yang sangat lambat, hanya biochar yang hilang $7 \times 10^{-4}\%$. Kandungan C-nya per hari dalam kondisi optimal yang berarti dibutuhkan waktu hampir 400 tahun bagi biochar untuk mengalami penurunan kandungan C sebesar 1%. sifat biochar yang bertahan lama sebagai penyerap C yang efektif, memperkuat potensinya sebagai solusi penyerapan C tanah yang berkelanjutan dan tahan lama. Dengan demikian Biochar menjadi solusi potensial untuk mitigasi perubahan iklim dan meningkatkan penyimpanan C tanah.

2. Offset Karbon

Bersamaan dengan teknologi penangkapan dan penyimpanan karbon, pasar karbon telah muncul sebagai alat penting dalam memberikan insentif dan memfasilitasi pengurangan emisi di berbagai sektor. Prinsip pasar karbon (Sistem Perdagangan Emisi) adalah menetapkan harga untuk setiap ton setara CO_2 (CO_2e), sehingga menjadikannya komoditas perdagangan. Hal ini memungkinkan terjadinya pertukaran emisi karbon dan serapan karbon, yang biasa disebut dengan offset (Salma et al., 2024). Pertukaran ini difasilitasi oleh pihak perantara, sebuah platform yang disebut pasar.

Kredit karbon adalah izin untuk menghasilkan dan mengeluarkan satu ton karbon dioksida (CO_2), dan dapat dibeli melalui pasar ini. Di sisi lain, ketika satu ton CO_2 dihilangkan dari atmosfer dengan menerapkan salah satu teknologi CCS (*Carbon Capture Storage*), hal ini menghasilkan penyeimbangan karbon. Pasar menghubungkan kredit dan penyeimbangan untuk menciptakan pasar karbon. Pendapatan mengalir melalui pertukaran ini untuk

membiayai proyek-proyek CCS dan untuk mempertahankan pengelolaan pasar.

Peran biochar di pasar karbon menawarkan pendekatan yang unik dan berkelanjutan merevolusi penyerapan karbon dan pertanian Biochar telah diidentifikasi sebagai salah satu metode penghilangan karbon dioksida (CDR). untuk diterapkan di bidang pertanian untuk menyimpan karbon di dalam tanah. Biochar mempunyai janji untuk menjadi game changer di bidang kredit karbon dan kredit karbon mitigasi perubahan iklim.

Biochar, salah satu bentuk arang, adalah produk konversi bahan organik, seperti limbah pertanian dan produk sampingan kehutanan, menjadi bentuk yang stabil karbon yang dapat disimpan di tanah selama berabad-abad. Melalui mekanisme ini biochar tidak hanya menghilangkan CO₂ dari atmosfer, tetapi juga meningkatkan kualitas tanah dan produktivitas pertanian.

Cara kerja carbon offset terdiri dari tiga langkah utama:

- a. **Mengurangi emisi karbon:** Perusahaan atau individu mengurangi emisi karbon dari aktivitas yang mereka lakukan, seperti penggunaan listrik, transportasi, dan polusi lainnya.
- b. **Membeli sertifikat karbon:** Setelah mengurangi emisi karbon, perusahaan atau individu membeli sertifikat karbon dari proyek yang mengurangi emisi karbon di luar negeri. **Misalnya**, dengan membeli sertifikat karbon dari proyek pengurangan emisi di negara berkembang, perusahaan atau individu dapat menyeimbangkan jejak karbon yang mereka keluarkan.
- c. **Mengurangi emisi karbon netral:** Setelah membeli sertifikat karbon, perusahaan atau individu dapat menjadi "karbon netral" karena emisi karbon yang mereka keluarkan telah diserap oleh proyek yang mereka tukar.

BAB 7 | PENERAPAN BIOCHAR PADA BUDIDAYA JAGUNG

A. Penggunaan Biochar sebagai Pembenh Tanah

Penggunaan bahan organik dalam bentuk biochar merupakan salah satu strategi dalam manajemen lingkungan pertanian. Biochar dapat digunakan sebagai bahan pembenh tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi penggunaan pupuk non-organik. aplikasi biochar pada budidaya jagung dapat dilakukan melalui penggunaan biochar secara langsung sebagai bahan pembenh tanah dan penggunaan biochar sebagai pupuk slowrelease yang dimodifikasi dengan sumber nitrogen atau sumber hara lainnya.

Residu pertanian merupakan sumber utama bahan organik berkelanjutan di dunia. Di Indonesia limbah jagung seperti tongkol jagung juga berpotensi sebagai sumber bahan organik yang berkelanjutan. Luas panen jagung di Indonesia seluas 5.734.326 ha (BPS, 2018). Samanta et al. (2012) mengestimasi produksi tongkol jagung dalam satu hektar berkisar 1,42-1,53 ton. Lehmann (2007) melaporkan, bahwa biomassa yang diproses menjadi biochar akan menghasilkan 50% karbon. Tongkol jagung memiliki komposisi karbon sebanyak 74,80% (Ceranic et al., 2016). Artinya, tersedia tongkol jagung sebanyak 8.8 juta ton yang berpotensi menghasilkan karbon sebesar 6,6 juta ton per tahun. Apabila dimaksimalkan sebagai bahan pembenh tanah, maka jumlah ini dapat menambah bahan organik tanah sebesar 9 ton (Young, 1989) pada lahan seluas 729.177 ha.

Aplikasi biochar sebagai bahan pembenah tanah ke lahan dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu; (3) ditanamkan di lubang tanam/lubang biopori. (2) diberikan dalam larikan atau jalur tanaman lalu ditutup dengan tanah dilarik (jalur tanaman), (1) disebar secara merata di permukaan tanah, lalu diaduk sampai kedalaman 5 cm (Nurida, 2014) (Gambar 7.1.)



Gambar 7. 1. Aplikasi biochar dilahan pertanian: (a) lubang biopori; (b) larikan; (c) penyebaran dipermukaan tanah

Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa biochar meningkatkan kualitas tanah secara signifikan, seperti kapasitas menahan air, stabilitas agregat tanah dan retensi hara (Karhu et al., 2011; Burrell et al., 2016; Ma, et al., 2016; Domingues et al., 2017; Rawat et al., 2019). Biochar mampu memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah, sehingga dapat mendukung pertumbuhan tanaman (Enders et al., 2012; Zong et al., 2014; Isidoria et al., 2017), karena biochar dapat meningkatkan retensi air, fiksasi nitrogen dan efisiensi penggunaan air (Herath, et al., 2013; Peake, et al., 2014; Lehman and Joseph 2015) serta meningkatkan kandungan C-organik dan fosfat (Zhang et al., 2015; Gao et al., 2016). Selain itu, biochar dapat mengurangi evaporasi di lahan kering (Wang et al., 2018), sehingga secara signifikan meningkatkan produksi jagung (Raj et al., 2018).

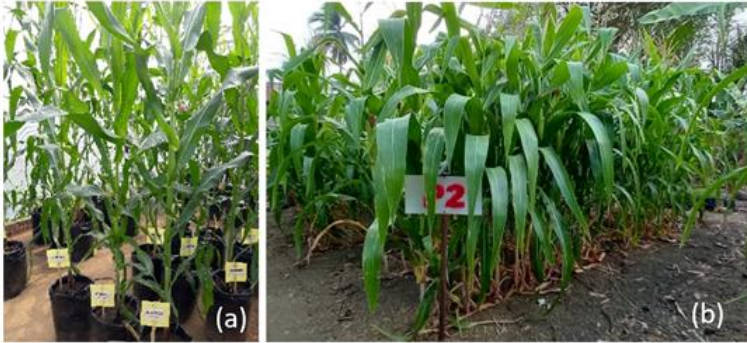
B. Penggunaan Biochar sebagai Pupuk Organik

Biochar dapat digunakan sebagai pupuk organik untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi penggunaan pupuk non-organik. Aplikasi biochar sebagai pupuk slowrelease dilakukan dengan cara memodifikasi biochar melalui: 1)

pengkayaan dengan bakteri atau jamur penambat nitrogen, 2) penambahan sumber nitrogen seperti pupuk kimia (urea dan NPK) dan urin sapi; 3) biochar sebagai bahan pembuat kompos.

Biochar dapat digunakan sebagai bahan pembawa hara karena memiliki kemampuan untuk menyediakan unsur hara yang berpotensi sebagai pupuk slowrelease. Biochar dari tongkol jagung sangat berpotensi sebagai bahan dasar pupuk slowrelease karena mengandung karbon >70% (Ceranic et al., 2016; Sukmawati, 2020a). Pupuk slowrelase merupakan pupuk yang dikembangkan sebagai teknologi pemupukan yang efisien, karena unsur hara dilepas secara lambat. Hal dapat mengendalikan pelepasan nutrisi pupuk yang mudah hilang akibat mudah menguap, larut dalam air, serta terjadinya proses denitrifikasi. Pupuk ini dapat memberikan efisiensi penggunaan pupuk mencapai 70% penyerapan unsur N bagi tanaman. Dibandingkan dengan penggunaan pupuk lainnya tanaman hanya mampu menyerap unsur hara N sebanyak 50- 60%. Keuntungan penggunaan pupuk slow release dibandingkan pupuk lainnya yaitu ketersediaan pupuk didalam tanah akan bertahan lama, dapat mengatasi terjadinya penguapan unsur hara N. Urine sapi merupakan hasil sekresi dari sistem pencernaan sapi yang mengandung unsur hara dan hormon alami. Urine sapi juga mengandung ZPT alami yaitu auksin dan IAA serta mengandung 1,00% N, 0,20% P, dan 1,35% .

Biochar dari tongkol jagung mampu mereduksi penggunaan pupuk kimia hingga 200%. Saat ini penggunaan pupuk kimia khususnya urea mencapai 1250 kg/ha pada budidaya jagung. Hasil penelitian Sukmawati, (2020c), tanaman jagung yang ditanam di lahan kering dengan tekstur liat ditambahkan biochar sebanyak 900 gr dan pupuk urea 0.03 g mampu mempertahankan produksi jagung sebesar 6 ton pada kondisi kadar air kapasitas lapang 60% (percobaan *green house*). Bahkan penggunaan biochar tongkol jagung yang diperkaya bakteri dan urin sapi mampu mempertahankan pertumbuhan jagung pada kondisi suhu hari yang sangat tinggi pada saat kemarau panjang akibat paparan elnino (Gambar 7.2.).



Gambar 7. 2. Pertumbuhan tanaman jagung dengan penggunaan pupuk slowrelase bebrasis biochar: (a) Kondisi kadar air kapasitas lapang 60% (percobaan di Green House); (b) kondisi suhu tinggi (terpapar elnino) percobaan lapangan (dokumentasi pribadi, 2022/2024)

C. Penggunaan Biochar sebagai Penyerap Air

Sekitar 80% kebutuhan pangan dunia dihasilkan di lahan kering (FAO, 2011; FAO, 2016; FAO, 2017) termasuk jagung dengan berbagai kendala, di antaranya resiko kekeringan dan status hara yang rendah. Dibutuhkan efisiensi pengelolaan air dan unsur hara yang tepat untuk mempertahankan produktivitas lahan kering yang tinggi (Molden, 2007). Curah hujan sebagai sumber air utama lahan kering sering tidak mencukupi kebutuhan tanaman dan tidan menentu (Xiao, et al., 2016). Sekitar 50% lahan kering telah mengalami degradasi dan kekeringan (Vinocur and Altman, 2005), mengakibatkan penurunan produksi pangan hingga 10% (Lesk, et al., 2016). Masalah ini bukan hanya terkait retensi air, akan tetapi juga efisiensi penggunaan air untuk tanaman (Lehmann and Joseph, 2009).

Produksi jagung nasional menghadapi berbagai tantangan yang kompleks. Rata-rata produksi jagung pada tahun 2019-2022 hanya mencapai produksi aktual 5,2 ton/ha (BPS Indonesia, 2022. Rata-rata produksi jagung di tingkat petani stagnan pada hasil produksi 3-4 ton/ha. Hal ini disebabkan kebutuhan air pertanian yang tidak terpenuhi.

Hasil analisis menunjukkan kadar air sangat rendah (9%), dengan infiltrasi 0.41 cm/jam. Hampir semua lahan jagung berlereng memperparah kejadian erosi yang menipiskan lapisan olah dan memadatkan tanah pada lapisan bawah.

Target produktivitas lahan kering yang tinggi akan sulit dicapai tanpa teknologi pengelolaan air, sehingga diperlukan upaya perbaikan kondisi aktivitas ekosistem tanah agar mampu meretensi air dan memperbaiki status hara (Yan et al., 2015; Aller, et al. 2017; Günal et al., 2018; Wang, et al., 2019). Pengembangan tanaman jagung pada lahan kering membutuhkan teknologi pengawetan tanah dan pengelolaan air. Peningkatan karbon tanah dan polimer alami secara insitu sangat dibutuhkan untuk mengatasi ketersediaan air dan hara serta dispersi liat. Biochar berpolimer alami teruji meningkatkan 10% kemampuan tanah liat menyimpan air dan menurunkan bulk density (BD) menjadi 0.9 g/cm dan mempertahankan produksi jagung 6 ton/ha pada kondisi kering.

Tanah yang sehat dengan kandungan bahan organik yang tinggi memiliki kapasitas untuk menyimpan air dalam jumlah besar. Tanah dengan bahan organik tinggi memiliki kapasitas untuk menyimpan air dalam jumlah besar (FAO, 2015). Peningkatan kandungan C-organik tanah sebesar 1%, akan meningkatkan 2% kandungan air tersedia di tanah (Cornelissen et al., 2013).

Biochar yang ditambahkan pada lahan pertanian memperbaiki sifat fisik tanah yang berkaitan dengan kemampuan tanah meretensi air, diantaranya: kepadatan tanah (bulk density), kerapatan partikel tanah (particle density); porositas tanah; stabilitas agregat; luas permukaan tanah; dan potensial matriks.

Biochar merupakan bahan organik dengan kandungan C-Organik yang sangat tinggi >70% (Sukmawati, 2020c). Dilaporkan bahwa biochar dari tongkol jagung mampu meretensi air pada kondisi kering. Kapasitas retensi air sangat dipengaruhi oleh ukuran agregat tanah. Mekanisme yang terjadi adalah makroagregat tanah melindungi bahan organik dari proses mineralisasi maupun pencucian.

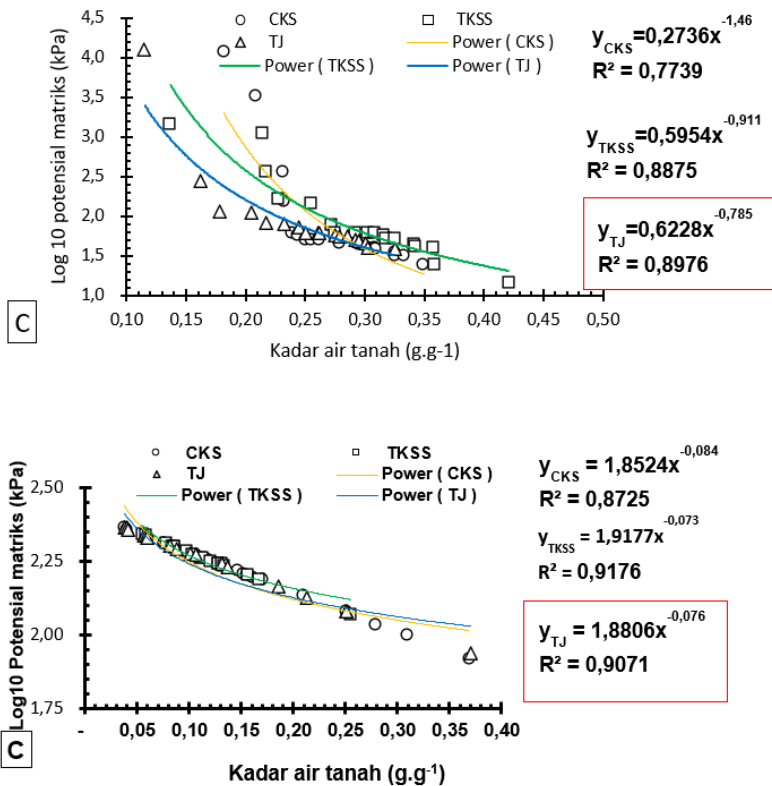
Selain itu kapasitas menyimpan air juga dipengaruhi oleh gugus fungsi permukaan, volume pori total, struktur porositas, dan luas permukaan spesifik. Luas permukaan dan porositas biochar keduanya menentukan retensi airnya, penyerapan kapasitas dan kimia permukaan termasuk KTK. Idealnya, total luas pori harus 50% dari volume tanah karena retensi air ditentukan oleh banyaknya volume air yang ditahan oleh pori mikro, sehingga menentukan kapasitas lapang. Sistem pori tanah berfungsi sebagai jalur untuk mengangkut air, udara dan panas, dan sebagai habitat biota pada tanah, sehingga berpotensi mengendalikan dekomposisi bahan organik dalam tanah.

Dinamika retensi air pada tanah bertekstur liat dipengaruhi oleh karakteristik biomassa biochar dalam mempengaruhi sifat fisik tanah yang berkaitan dengan retensi air, seperti porositas dan stabilitas agregat. Selain itu partikel biochar meningkatkan kadar air media berpori yang langsung mengelilinginya, dimana strukture intrapartikel menentukan peningkatan kapasitas menahan air.

Modifikasi tanah liat dengan biochar menghasilkan makroagregat yang lebih besar dari 0,25 mm. Dengan penambahan 6% biochar meningkatkan makroagregat sebesar 87-99% dan mengurangi mikroagregat (<0,25 mm) sebesar 3%, - 31% pada tanah liat. Ini dipengaruhi oleh zat perekat antara partikel tanah yang membentuk agregat, kemungkinannya berasal dari alginat yang berikatan antara permukaan biochar sebagai bahan organik dan partikel liat. Bakteri menyemen partikel tanah bersama-sama dengan pembentukan zat polisakarida terikat kuat dalam agregat atau dimasukkan ke dalam kisi tanah liat.

Ukuran butir biochar berperan penting dalam penyimpanan air, kapasitas lapangan, titik layu permanen, dan ketersediaan air semua meningkat dengan ukuran partikel biochar. Biochar dapat digunakan sebagai penyerap air untuk meningkatkan kesuburan tanah dan mengurangi penggunaan pupuk non-organik. Biochar yang sering digunakan berdiameter <2 mm. Ini karena, partikel kecil dapat mengisi pori-pori ruang

dan berinteraksi dengan partikel anorganik tanah. Mencampur biochar dengan ukuran <2 mm dengan anorganik tanah yang sebagian besar memiliki ukuran partikel lebih kecil (misalnya, tanah liat) dapat meningkatkan ruang pori dan aliran air. biochar meningkatkan infiltrasi air awal dalam tanah yang dipadatkan. Pada tanah bertekstur halus, partikel biochar dapat meningkatkan infiltrasi air dan konduktivitas hidrolik dengan meningkatkan agregasi tanah, sehingga meningkatkan pori makro dan pergerakan air di tanah liat. Selain itu, air yang tersimpan pada titik layu permanen meningkat pada tanah yang ditambahkan biochar.



Gambar 7. 3. Kemampuan retensi air biochar tongkol jagung pada tanah bertekstur liat (a) dan lempung berpasir (b) (Sukmawati, 2020b)

D. Penggunaan Biochar sebagai Penghambat Pemanasan Global

Penggunaan biochar telah diusulkan sebagai salah satu cara untuk membantu mengurangi pemanasan global dengan beberapa mekanisme potensial: 1) **Penyimpanan Karbon:** Biochar dapat menyimpan karbon dalam jangka waktu yang panjang dalam tanah. Ini mengurangi jumlah karbon dioksida (CO_2) yang dilepaskan ke atmosfer karena dekomposisi biomassa; 2) **Peningkatan Kesuburan Tanah:** Biochar dapat meningkatkan kualitas tanah dengan meningkatkan retensi air, pertukaran ion, dan kapasitas pertukaran kation. Hal ini dapat meningkatkan produktivitas tanaman dan mengurangi kebutuhan akan pupuk kimia, yang seringkali diproduksi dengan emisi gas rumah kaca; 3) **Mengurangi Emisi Gas Rumah Kaca:** Biochar dapat mengurangi emisi gas rumah kaca lainnya selain CO_2 , seperti metana (CH_4) dan nitrous oksida (N_2O), dengan mengurangi dekomposisi bahan organik dalam tanah; 4) **Meningkatkan Kestabilan Tanah:** Penggunaan biochar dapat meningkatkan stabilitas agregat tanah, mengurangi erosi tanah dan hilangnya karbon organik tanah.

Biochar di lahan pertanian mengurangi emisi gas rumah kaca seperti N_2O dan CH_4 . Penambahan biochar mampu mereduksi emisi yang dikeluarkan oleh tanah seperti gas N_2O dan CH_4 melalui pengikatan gas tersebut ke dalam pori arang. Terjadinya penurunan emisi N_2O melalui aplikasi biochar terjadi akibat menurunnya aktivitas bakteri denitrifikasi. Selain itu, biochar yang dimodifikasi sebagai pupuk slowrelease dapat mengubah pupuk kimia seperti Urea dan NPK menjadi pupuk pelepasan lambat sehingga mengurangi pelepasan nitrogen padan pemupukan jagung. Penggunaan pupuk slowrelease berbasis biochar dapat mereduksi penggunaan pupuk kimia dan meningkatkan efisiensi serapan nitrogen. Selain itu terjadinya perubahan kondisi tanah seperti porositas, luas permukaan tanah dan sifat redoks (oxic dan anoxic) mampu mentransfer electron ke organisme denitrifikasi.

Disisi lain, pembakaran limbah tanpa asap menjadi biochar dapat mereduksi cemaran CO₂ dilahan pertanian dan memerangkap CO₂ dalam bentuk stok karbon tanah secara persisten. Biochar yang diaktivasi menggunakan bakteri pemfiksasi nitrogen dan difermentasi menggunakan urin menjadi pupuk slowrelease bernutrisi tinggi untuk mensubstitusi penggunaan urea sehingga mereduksi cemaran N₂O melalui efisiensi pemupukan.

Selain itu, biochar yang diproduksi melalui teknologi tanpa asap dapat disertifikasi dalam bentuk kredit karbon yang dapat diperjualbelikan dalam bentuk ofseet karbon sehingga menjadi sumber pendapatan baru bagi petani dan memastikan petani menjaga lingkungan pertanian yang tangguh terhadap perubahan iklim.

E. Penggunaan Biochar sebagai Bahan Pengikat

Penggunaan biochar sebagai bahan pengikat menunjukkan potensi besar untuk meningkatkan kualitas lingkungan, kesehatan tanah, dan kinerja sistem rekayasa. Namun, efektivitasnya tergantung pada sejumlah faktor termasuk jenis biochar yang digunakan, kondisi lingkungan, dan aplikasi yang tepat. Berikut adalah beberapa cara di mana biochar dapat berperan sebagai bahan pengikat: 1) **Pengikat Polutan**: Biochar memiliki sifat adsorpsi yang kuat terhadap berbagai polutan organik dan anorganik dalam air dan tanah. Dalam konteks lingkungan, biochar dapat digunakan sebagai bahan pengikat untuk menghilangkan polutan seperti logam berat, senyawa organik terlarut, dan bahan pencemar lainnya dari lingkungan; 2) **Pengikat Nutrien**: Biochar dapat digunakan sebagai bahan pengikat nutrien dalam tanah. Ini dapat membantu mengurangi hilangnya nutrien melalui limpasan air dan meningkatkan ketersediaan nutrien bagi tanaman; 3) **Pengikat Air**: Biochar memiliki kapasitas untuk menyerap dan menyimpan air dalam strukturnya. Oleh karena itu, dalam aplikasi rekayasa, biochar dapat digunakan sebagai bahan pengikat untuk mengontrol erosi tanah, memperbaiki drainase,

dan meningkatkan retensi air tanah; 4) **Pengikat Karbon:** Biochar sendiri adalah produk karbonisasi biomassa, yang berarti bahwa ia mengandung karbon yang stabil. Dalam konteks pengelolaan karbon, biochar dapat digunakan sebagai bahan pengikat untuk menyimpan karbon dalam tanah, membantu mengurangi konsentrasi karbon dioksida atmosfer; 5) **Pengikat Gas:** Biochar juga dapat digunakan sebagai bahan pengikat untuk menangkap gas-gas beracun atau berbau yang ada dalam lingkungan, seperti amonia atau hidrogen sulfida di instalasi peternakan atau limbah.

BAB 8

NILAI EKONOMI SISTEM PRODUKSI JAGUNG BERBASIS KARBON

A. Tantangan Ekonomi Pengembangan Jagung Dilahan Kering

Pengembangan jagung secara konvensional telah menimbulkan berbagai masalah lingkungan seperti jejak karbon, eutrofikasi, dan jejak energi. Budidaya jagung secara monokultur dan intensifikasi dengan input kimia yang tinggi telah menyebabkan degradasi lahan terutama di lahan kering. Disisi lain produksi jagung di lahan kering menghadapi sejumlah kendala ekonomi yang dapat mempengaruhi hasil dan profitabilitas petani. Beberapa kendala utama yang mungkin dihadapi termasuk:

1. **Ketersediaan Air:** Salah satu kendala utama produksi jagung di lahan kering adalah ketersediaan air yang terbatas. Lahan kering cenderung memiliki curah hujan yang rendah atau tidak teratur, sehingga petani harus mengandalkan irigasi atau teknik konservasi air untuk memastikan tanaman mendapatkan pasokan air yang cukup. Biaya irigasi tambahan atau investasi dalam infrastruktur irigasi dapat menjadi beban ekonomi bagi petani.
2. **Kesuburan Tanah:** Lahan kering sering kali memiliki tanah yang kurang subur dan memiliki kandungan bahan organik yang rendah. Biaya pemupukan dan pengelolaan tanah untuk meningkatkan kesuburan tanah dapat menjadi beban tambahan bagi petani.

3. **Biaya Input:** Produksi jagung membutuhkan sejumlah input seperti benih, pupuk, pestisida, dan bahan bakar untuk mesin pertanian. Biaya input ini dapat menjadi faktor penghambat ekonomi terutama jika harga input relatif tinggi dan hasil panen tidak dapat menutupi biaya produksi.
4. **Teknologi dan Inovasi:** Teknologi dan praktik pertanian inovatif yang sesuai dengan kondisi lahan kering dapat membantu meningkatkan produktivitas dan efisiensi produksi. Namun, biaya investasi awal dalam teknologi dan pelatihan petani untuk menerapkan praktik pertanian yang baru dapat menjadi kendala ekonomi bagi beberapa petani.
5. **Harga Pasar:** Harga jagung dipengaruhi oleh faktor-faktor pasar global dan lokal, termasuk permintaan dan penawaran global, kebijakan perdagangan, dan faktor-faktor ekonomi lainnya. Fluktuasi harga dapat membuat petani di lahan kering rentan terhadap risiko ekonomi.
6. **Ketidakpastian Cuaca:** Lahan kering rentan terhadap cuaca ekstrem seperti kekeringan atau banjir yang dapat mengganggu produksi tanaman. Ketidakpastian cuaca dapat menyebabkan kerugian produksi dan merugikan keuangan petani.

B. Nilai Ekonomi Produksi Jagung Berbasis Biochar

Pengembangan jagung membutuhkan teknologi produksi berbasis konservasi untuk mengatasi permasalahan ekonomi dan lingkungan dalam budidaya jagung secara konvensional. Sistem produksi jagung berbasis konservasi karbon adalah pendekatan pertanian yang bertujuan untuk mengurangi emisi karbon ke atmosfer dan meningkatkan penyerapan karbon di tanah, sambil mempertahankan atau meningkatkan produktivitas tanaman jagung dan menciptakan pendapatan alternatif bagi petani. Sistem produksi jagung berbasis karbon memiliki nilai ekonomi yang penting, terutama karena dapat meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian dalam jangka panjang. Berikut adalah beberapa nilai ekonomi dari sistem produksi jagung berbasis karbon:

1. Penurunan Biaya Input

Penggunaan praktik-praktik pengelolaan tanah berbasis karbon, seperti penggunaan biochar dan pupuk organik, dapat mengurangi ketergantungan petani pada pupuk kimia dan bahan-bahan sintetis lainnya. Hal ini dapat mengurangi biaya input dalam produksi jagung.

Sistem produksi jagung berbasis karbon bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada input-input konvensional seperti pupuk kimia dan pestisida sintetis, dan sebaliknya menggunakan praktik-praktik yang memanfaatkan bahan-bahan organik dan mengoptimalkan siklus karbon dalam sistem pertanian. Beberapa penurunan input produksi yang mungkin terjadi dalam sistem produksi jagung berbasis karbon meliputi:

- a. **Pupuk Kimia:** Dalam sistem berbasis karbon, pupuk kimia yang mahal dan berbasis bahan bakar fosil dapat dikurangi atau bahkan dihilangkan. Sebagai gantinya, praktik-praktik seperti penggunaan pupuk organik seperti kompos, pupuk hijau, dan teknik penutup tanah dapat meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman.
- b. **Pestisida Sintetis:** Sistem berbasis karbon sering kali mendorong penggunaan manajemen hama yang berkelanjutan, termasuk rotasi tanaman, pola tanam yang sesuai, dan penggunaan agen pengendalian hama alami. Ini dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida sintetis yang mahal dan berpotensi merusak lingkungan.
- c. **Bahan Bakar dan Energi:** Praktik-praktik berbasis karbon seperti penggunaan kompos, penggunaan tenaga manusia dan hewan, serta penggunaan energi terbarukan seperti bioenergi dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan energi non-terbarukan lainnya.
- d. **Pengolahan Tanah:** Sistem berbasis karbon sering mendorong praktik-praktik pengelolaan tanah yang meningkatkan kesehatan tanah dan mengurangi erosi tanah, seperti pertanian tanpa olah tanah atau minimal olah tanah. Ini dapat mengurangi penggunaan bahan

bakar dan mesin pertanian yang berkontribusi pada emisi karbon.

- e. **Air dan Irigasi:** Praktik-praktik konservasi air seperti pengelolaan air yang efisien dan penanaman tumpang sari dapat membantu mengurangi kebutuhan akan irigasi yang intensif. Ini dapat mengurangi biaya operasional dan input energi yang terkait dengan penggunaan air.

Penurunan input-produksi ini dapat membantu meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi biaya operasional, dan mengurangi dampak lingkungan negatif dari pertanian konvensional. Namun, transisi ke sistem produksi berbasis karbon mungkin memerlukan investasi awal dalam infrastruktur, pelatihan, dan penelitian untuk mengoptimalkan hasil dan profitabilitas jangka panjang.

2. Peningkatan Produktivitas

Penambahan karbon organik ke dalam tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah, ketersediaan nutrisi, dan retensi air, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan produktivitas tanaman jagung. Hasil yang lebih baik dapat menghasilkan pendapatan yang lebih tinggi bagi petani.

Biochar tongkol jagung mampu mempengaruhi proses fotosintesis, dengan meretensi air dan hara agar tetap tersedia, walaupun dalam kondisi kering. Mekanisme yang terjadi adalah bahwa biochar mengubah struktur tanah, meningkatkan kapasitas menahan air, (Fu et al., 2018), menyediakan lebih banyak N dan C-organik untuk pertumbuhan jagung dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan urea. Selain itu, memperbaiki kelembaban tanah sehingga berkontribusi terhadap peningkatan hasil jagung pada lahan pertanian yang mengalami cekaman kekeringan (Zhang et al., 2016). Biochar tongkol jagung yang diperkaya bakteri mampu menghasilkan produksi jagung tertinggi sebesar 12,78 ton h⁻¹, 11,89 ton h⁻¹ dan 8,80 ton h⁻¹, masing-masing pada kondisi kadar air tanah 100%, 80% dan 60% dari kapasitas lapang (Sukmawati, 2020b).

3. Peningkatan ketahanan terhadap perubahan iklim

Sistem produksi jagung berbasis karbon cenderung lebih tahan terhadap perubahan iklim, terutama dalam hal peningkatan kekeringan dan fluktuasi suhu. Dengan mengurangi risiko kerugian akibat perubahan iklim, petani dapat menjaga stabilitas pendapatan mereka. Dengan mengajari para petani cara membuat biochar, melindungi planet ini dengan memajukan pertanian berkelanjutan, menyerap karbon, mengurangi emisi, dan membina kemitraan penyeimbangan karbon perusahaan untuk memperkuat dampak lingkungan

4. Akses ke pasar yang lebih tinggi

Praktik-praktik pertanian berkelanjutan, termasuk sistem produksi jagung berbasis karbon, semakin dihargai oleh konsumen yang semakin peduli terhadap pangan sehat dan lingkungan. Hal ini dapat membuka akses petani ke pasar yang menghargai produk-produk yang dihasilkan secara berkelanjutan. Biochar meningkatkan kesuburan tanah dan hasil panen, mengurangi ketergantungan pupuk kimia. Hal ini mendorong sistem pangan yang lebih sehat, sumber air yang lebih bersih, dan peningkatan kesehatan masyarakat yang menjamin harapan hidup lebih lama bagi komunitas petani kita.

5. Peningkatan Kesejahteraan Petani

Dengan mengurangi biaya input, meningkatkan produktivitas, dan mengakses pasar yang lebih tinggi, sistem produksi jagung berbasis karbon dapat meningkatkan kesejahteraan petani secara keseluruhan. Ini dapat mencakup peningkatan pendapatan, keamanan pangan, dan keberlanjutan ekonomi komunitas pertanian.

Sistem produksi jagung berbasis karbon mendorong kesetaraan sosial dengan menawarkan kesempatan yang sama kepada kelompok pertanian yang terpinggirkan, memberdayakan perempuan, pemuda, dan komunitas

kurang beruntung di sektor pertanian berkelanjutan. Melalui pelatihan dan dukungan pada petani kecil dapat memperoleh pendapatan tambahan dengan memproduksi biochar dan mendapatkan kredit c-sink. Pemberdayaan keuangan ini mengarah pada peningkatan standar hidup dan merangsang perekonomian lokal.

Sistem produksi jagung berbasis biochar dapat menciptakan pendapatan alternatif bagi petani dari segi perdagangan karbon. Limbah pertanian seperti tongkol jagung dan batang jagung yang diolah menjadi biochar melalui pembakaran tanpa asap dan diaplikasi ke dalam tanah sebagai stok karbon dapat disertifikasi dan diperjualbelikan dalam bentuk kredit karbon. Sertifikat tersebut dijual dalam skema offset karbon atau penyeimbang emisi sukarela di pasar karbon. Dimana kegiatan ini melibatkan petani dalam pasar sukarela karbon yang mana dapat meningkatkan peran petani jagung dalam memitigasi dan meningkatkan adaptasi pertanian jagung menghadapi perubahan iklim.

6. Mengurangi Biaya Lingkungan dan Sosial

Produksi jagung dengan sistem konvensional tanpa disadari banyak menimbulkan biaya lingkungan dan sosial. Biaya lingkungan yang dimaksud, diantaranya:

- a. **Emisi Gas Rumah Kaca:** Sistem produksi jagung konvensional sering kali menyebabkan emisi gas rumah kaca yang tinggi melalui penggunaan bahan bakar fosil, penggunaan pupuk kimia, dan degradasi tanah. Dalam sistem produksi berbasis karbon, usaha untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dapat memperhitungkan biaya lingkungan yang terkait dengan penurunan kontribusi terhadap perubahan iklim.
- b. **Degradasi Tanah:** Praktik-praktik pertanian konvensional sering menyebabkan degradasi tanah, termasuk erosi tanah dan penurunan kesuburan. Dalam sistem produksi berbasis karbon, biaya lingkungan yang

terkait dengan pemulihan tanah dan menjaga kesehatan tanah harus dipertimbangkan.

- c. **Pencemaran Air dan Tanah:** Penggunaan pestisida sintetis dan pupuk kimia dalam pertanian konvensional dapat menyebabkan pencemaran air dan tanah. Dalam sistem produksi berbasis karbon, biaya lingkungan yang terkait dengan mengurangi pencemaran air dan tanah harus dipertimbangkan.

Adapun biaya sosial yang ditimbulkan pada sistem produksi jagung secara konvensional adalah sebagai berikut:

- a. **Kesehatan Masyarakat:** Penggunaan pestisida sintetis dalam pertanian konvensional dapat memiliki dampak negatif pada kesehatan masyarakat, termasuk risiko terkena keracunan pestisida. Dalam sistem produksi berbasis karbon, biaya sosial yang terkait dengan mengurangi risiko kesehatan masyarakat harus dipertimbangkan.
- b. **Kesejahteraan Petani:** Penerapan praktik-praktik pertanian berbasis karbon dapat memerlukan perubahan dalam praktik pertanian tradisional, yang dapat mempengaruhi pendapatan dan kesejahteraan petani. Biaya sosial ini harus dipertimbangkan untuk memastikan bahwa transisi ke sistem berbasis karbon menguntungkan bagi semua pemangku kepentingan.
- c. **Keamanan Pangan:** Ketersediaan dan aksesibilitas pangan bagi masyarakat lokal harus dipertimbangkan dalam sistem produksi jagung berbasis karbon. Perubahan dalam praktik pertanian dapat mempengaruhi produksi pangan dan harga, yang pada gilirannya dapat memengaruhi keamanan pangan lokal.

BAB 9

STUDI KASUS DAN CONTOH IMPLEMENTASI

A. Proyek Percontohan Sistem Produksi Kakao Berbasis Biochar

Proyek percontohan sistem produksi kakao berbasis biochar merupakan proyek pertama yang menerapkan limbah tongkol jagung dalam bentuk biochar di Kabupaten Soppeng. Kegiatan ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan biochar sebagai media tanam pada pembibitan kakao, pupuk slowrelase pada tanaman kakao menghasilkan dan bahan pembenah tanah pada restorasi kebun kakao yang sudah tua.

Biochar diproduksi menggunakan teknologi kontiki (by. Ithaka institue). Proses ini mengikuti prinsip pirolisis biomassa lapis demi lapis dalam tanur logam terbuka berbentuk kerucut yang mudah dioperasikan, cepat, dan menghasilkan emisi gas rumah kaca yang rendah. Hal ini memungkinkan produksi biochar dalam jumlah yang relatif besar (volume biochar 700 hingga 850 L dalam 4–5 jam).

Aplikasi biochar dalam bentuk media tanam digunakan sebanyak 1 ton untuk pembibitan kakao sebanyak 1000 pohon. Perbandingan media tanaman yakni 1 kg tanah : 1 kg biochar. Hasilnya 1000 bibit kakao tumbuh dengan baik diberikan kepada 100 orang petani. Selain itu biochar diaplikasi pada tanaman kakao sebagai pupuk slowrelease. Penggunaan biochar sebagai pupuk slow release pada tanaman kakao dapat dilakukan dengan menggunakan lubang biopori dengan dosis pemupukan 9 L per pohon. Jumlah lubang per pohon adalah 2

buah sehingga satu lubang biopori diisi 4.5 l biochar yang telah diproses menjadi pupuk slowrelease. Pada kegiatan ini sebanyak 2,6 ton biochar berhasil disertifikasi dalam bentuk kredit karbon.



Gambar 9. 1. Aplikasi biochar tongkol jagung pada tanaman kakao

B. Penerapan Biochar Berpolimer Alami pada Usaha Tani Jagung

Lokasi studi pada pertanian lahan kering di Kabupaten Soppeng dengan obyek studi pertanaman jagung. Tujuan utama studi kasus ini adalah untuk mengevaluasi efektivitas penggunaan biochar dari tongkol jagung dalam meningkatkan produksi jagung dan efisiensi penggunaan pupuk kimia dan pengurangan mengurangi emisi karbon CO₂ dan N₂O.

Produksi Biochar dilakukan dengan menggunakan kontiki dan TLUD. Penggunaan TLUD membakar bahan baku dengan bersih, sehingga mengurangi emisi gas, karena sebagian besar gas sintetik dibakar di bagian depan api. Ada beberapa keterbatasan dalam penggunaan TLUD yang relatif kecil karena menghasilkan biochar yang sangat sedikit (sekitar 300 g per proses). TLUD yang digunakan dirakit dari drum bekas minyak yang berukuran 500 L dengan kapasitas pembakaran 25 kg tongkol jagung selama 1,5 – 2 jam dengan hasil pembakaran 16 kg biochar. Sebanyak 25 ton tongkol jagung diolah menjadi biochar sebanyak 16 ton dan mendapatkan sertifikasi dalam trading karbon.

Penggunaan TLUD mereduksi cemaran CO₂ dari 2000 ppm menjadi 500 ppm. Sementara itu, penggunaan biochar tongkol jagung sebagai pupuk slowrelease mereduksi penggunaan pupuk urea dari 1250 kg/ha menjadi 350 kg. Pada kondisi usaha tani jagung terpapar el nino dengan suhu harian

yang tinggi, tanaman jagung mampu tumbuh dengan baik meskipun mendapat kendala pada pengisian biji. Akan tetapi tanaman lebih tahan terhadap serangan penyakit bulai.

Melalui pendekatan ini, studi kasus dapat menyediakan wawasan yang berharga tentang potensi dan efektivitas penerapan biochar dari tongkol jagung dalam skema offset karbon, serta implikasinya dalam konteks keberlanjutan pertanian dan pengurangan emisi karbon.

C. Beberapa Contoh Kasus Sukses di Luar Negeri

1. Di negara bagian Illinois, Amerika Serikat, sebuah penelitian yang dipimpin oleh University of Illinois menunjukkan bahwa penerapan biochar dalam budidaya jagung meningkatkan kesehatan tanah dan produktivitas tanaman. Biochar meningkatkan ketersediaan nutrisi dalam tanah dan meningkatkan pertumbuhan tanaman jagung, yang berujung pada peningkatan hasil panen.
2. Di Wisconsin, seorang petani melaporkan peningkatan produktivitas tanaman jagung hingga 20% setelah menerapkan biochar dalam tanahnya. Penggunaan biochar meningkatkan kesehatan tanah dan menahan air, yang menghasilkan tanaman jagung yang lebih kuat dan produktif.
3. Di Kenya, sebuah proyek bernama "Biochar for Sustainable Agriculture in East Africa" telah berhasil memperkenalkan biochar kepada petani-petani lokal untuk meningkatkan produktivitas tanaman, kesehatan tanah, dan pengurangan emisi karbon. Penggunaan biochar telah meningkatkan hasil panen jagung dan meningkatkan kesuburan tanah, sehingga membantu petani meningkatkan pendapatan mereka.
4. Di Zambia, sebuah proyek yang dipimpin oleh Center for International Forestry Research (CIFOR) telah memperkenalkan biochar sebagai bagian dari upaya untuk meningkatkan ketahanan pangan dan adaptasi perubahan iklim. Penggunaan biochar dalam budidaya jagung telah terbukti meningkatkan hasil panen dan kualitas tanah.

5. Di Thailand, sebuah studi yang dilakukan oleh Chiang Mai University menunjukkan bahwa penerapan biochar dalam budidaya jagung meningkatkan ketersediaan unsur hara dalam tanah dan meningkatkan hasil panen secara signifikan.

Kasus-kasus sukses ini menunjukkan potensi biochar dalam meningkatkan produktivitas tanaman jagung, kesehatan tanah, dan keberlanjutan pertanian di berbagai belahan dunia. Dengan pendekatan yang tepat dan pemahaman yang baik tentang aplikasi biochar, petani dapat memanfaatkan manfaatnya untuk meningkatkan hasil panen dan mengurangi dampak lingkungan dari praktik pertanian konvensional.

BAB 10

TANTANGAN DAN STRATEGI IMPLEMENTASI BIOCHAR BERBASIS OFFSET KARBON

Implementasi biochar berbasis offset karbon memerlukan pendekatan holistik yang mencakup inovasi teknologi, penelitian, kolaborasi, pengembangan pembiayaan, manajemen risiko, dan pendidikan masyarakat untuk mencapai kesuksesan jangka panjang dalam mengurangi emisi karbon dan memperbaiki kesehatan lingkungan.

Penerapan biochar sebagai strategi offset karbon memiliki beberapa tantangan, tetapi juga dapat memberikan manfaat besar dalam mengurangi emisi dan meningkatkan kesejahteraan lingkungan. Berikut adalah beberapa tantangan dan strategi implementasi biochar berbasis offset karbon

A. Biaya Produksi

Produksi biochar bisa menjadi mahal tergantung pada metode produksi dan sumber biomassa yang digunakan. Tantangan biaya produksi biochar dalam skema offset karbon bisa menjadi kompleks, terutama karena perhitungan biaya harus seimbang dengan manfaat karbon yang diberikan. Berikut adalah beberapa tantangan khusus yang terkait dengan biaya produksi biochar dalam skema offset karbon:

1. **Biaya Produksi Awal:** Biaya produksi biochar termasuk biaya peralatan dan infrastruktur, biaya energi, dan biaya operasional lainnya. Investasi awal yang diperlukan untuk membangun pabrik pirolisis atau fasilitas produksi biochar bisa sangat tinggi.

2. **Biaya Bahan Baku:** Biaya biomassa yang digunakan sebagai bahan baku untuk produksi biochar bisa bervariasi tergantung pada ketersediaan dan aksesibilitasnya. Pilihan biomassa juga dapat mempengaruhi harga dan ketersediaan, terutama jika biomassa bersaing dengan sumber pangan atau bahan bakar lainnya.
3. **Biaya Transportasi:** Jarak antara lokasi produksi biochar dan lokasi di mana karbon harus di-offsetkan dapat mempengaruhi biaya transportasi. Biaya ini harus dimasukkan ke dalam perhitungan keseluruhan untuk menentukan efektivitas skema offset karbon.
4. **Biaya Verifikasi dan Sertifikasi:** Proses verifikasi dan sertifikasi proyek offset karbon bisa mahal, terutama jika melibatkan audit independen oleh pihak ketiga. Biaya ini dapat meningkatkan beban finansial bagi produsen biochar, terutama untuk proyek-proyek kecil atau skala kecil.
5. **Biaya Administrasi:** Administrasi dan manajemen proyek offset karbon dapat memerlukan sumber daya yang signifikan, terutama dalam hal dokumentasi, pelaporan, dan pemantauan yang tepat. Ini juga dapat menambah biaya produksi biochar.

Strategi mengatasi tantangan biaya produksi:

1. **Inovasi Teknologi:** Pengembangan teknologi produksi biochar yang lebih efisien dan terjangkau dapat membantu mengurangi biaya produksi. Ini bisa termasuk penggunaan teknologi pirolisis yang lebih maju atau pendekatan produksi yang lebih terintegrasi.
2. **Skalabilitas:** Meningkatkan skala produksi biochar dapat membantu menurunkan biaya produksi per unit, karena biaya tetap dapat tersebar lebih luas.
3. **Pendanaan dan Dukungan Keuangan:** Membangun model pembiayaan yang sesuai, seperti pinjaman berbunga rendah atau bantuan pemerintah, dapat membantu mengurangi beban finansial awal dan meningkatkan aksesibilitas produksi biochar.

4. **Kemitraan dan Kolaborasi:** Kolaborasi dengan pihak lain, termasuk pemerintah, industri, dan lembaga keuangan, dapat membantu membagi biaya dan meningkatkan sumber daya yang tersedia untuk proyek-produk biochar.
5. **Optimisasi Proses Produksi:** Memperbaiki efisiensi operasional dan mengurangi pemborosan dalam proses produksi biochar dapat membantu mengendalikan biaya produksi secara keseluruhan.

Dengan mengidentifikasi tantangan biaya produksi biochar dalam skema offset karbon dan menerapkan strategi yang sesuai, produsen biochar dapat meningkatkan daya saing dan keberlanjutan proyek mereka dalam jangka panjang

B. Skalabilitas

Memperluas penggunaan biochar dalam skala besar memerlukan infrastruktur yang sesuai dan investasi yang signifikan. Tantangan skalabilitas implementasi biochar adalah kemampuan untuk memperluas penggunaannya dalam skala yang lebih besar, baik dalam produksi maupun penerapannya, untuk mencapai dampak yang signifikan dalam mengurangi emisi karbon dan meningkatkan kesejahteraan lingkungan. Berikut adalah beberapa tantangan dan strategi untuk mengatasi skalabilitas implementasi biochar:

1. **Infrastruktur:** Memperluas produksi biochar dalam skala besar memerlukan infrastruktur yang sesuai, termasuk pabrik pirolisis dan fasilitas pengolahan biomassa.
2. **Ketersediaan Bahan Baku:** Menjamin pasokan biomassa yang berkelanjutan dan memadai untuk produksi biochar bisa menjadi tantangan, terutama karena persaingan dengan penggunaan biomassa lainnya, seperti energi dan pangan.
3. **Kebijakan dan Regulasi:** Kurangnya kejelasan dalam kebijakan dan regulasi terkait penggunaan dan produksi biochar dapat menghambat pengembangan proyek-proyek biochar dalam skala besar.

4. **Penerimaan Masyarakat:** Masyarakat dan pemangku kepentingan lokal harus mendukung pengembangan proyek biochar. Kekhawatiran terhadap perubahan penggunaan lahan, dampak lingkungan, dan manfaat ekonomi dapat menjadi hambatan untuk adopsi yang luas.
5. **Biaya:** Biaya produksi dan aplikasi biochar dapat menjadi penghalang untuk memperluas penggunaannya dalam skala besar, terutama jika biaya ini tidak dapat dikompensasi oleh manfaat ekonomi atau lingkungan.

Strategi untuk mengatasi tantangan skalabilitas:

1. **Pengembangan Infrastruktur:** Investasi dalam infrastruktur produksi dan pengolahan biochar yang efisien dan terjangkau akan memfasilitasi produksi dalam skala besar.
2. **Diversifikasi Sumber Bahan Baku:** Mengidentifikasi dan menggunakan berbagai sumber biomassa untuk produksi biochar dapat mengurangi risiko ketersediaan bahan baku dan meningkatkan keberlanjutan proyek.
3. **Kemitraan dan Kolaborasi:** Kolaborasi antara pemerintah, industri, akademisi, dan masyarakat dapat mempercepat pengembangan proyek biochar dan memfasilitasi pertukaran pengetahuan dan sumber daya.
4. **Pembentukan Kebijakan yang Mendukung:** Pemerintah harus mengadopsi kebijakan dan regulasi yang jelas dan mendukung penggunaan dan produksi biochar, termasuk insentif fiskal dan mekanisme pasar karbon.
5. **Pendidikan dan Komunikasi:** Mendidik masyarakat tentang manfaat biochar dan cara-cara implementasinya dalam mengatasi perubahan iklim dan masalah lingkungan lainnya dapat meningkatkan dukungan dan penerimaan masyarakat.
6. **Inovasi Teknologi:** Terus mendorong inovasi dalam teknologi produksi biochar untuk meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan meningkatkan manfaat lingkungan.

Dengan mengatasi tantangan-tantangan ini dan menerapkan strategi yang sesuai, implementasi biochar dapat diperluas dalam skala yang lebih besar, yang pada gilirannya

dapat memberikan dampak yang lebih besar dalam mengurangi emisi karbon dan meningkatkan kesejahteraan lingkungan secara keseluruhan.

C. Pemahaman Ilmiah

Masih banyak yang harus dipelajari tentang bagaimana biochar berinteraksi dengan tanah dan lingkungan. Pemahaman ilmiah yang lebih dalam diperlukan untuk mengoptimalkan manfaatnya. Tantangan pemahaman ilmiah dalam penerapan biochar meliputi:

1. **Interaksi dengan Tanah:** Masih banyak yang harus dipelajari tentang bagaimana biochar berinteraksi dengan tanah, termasuk efeknya terhadap struktur tanah, ketersediaan nutrisi, dan aktivitas mikroba tanah. Pemahaman yang lebih baik tentang mekanisme ini diperlukan untuk mengoptimalkan manfaat biochar dalam meningkatkan kesuburan tanah.
2. **Efek Jangka Panjang:** Studi tentang efek jangka panjang dari penerapan biochar masih terbatas. Penting untuk memahami dampak biochar terhadap tanah, tanaman, dan lingkungan dalam jangka waktu yang lebih panjang untuk mengevaluasi keberlanjutan penggunaannya.
3. **Variabilitas Sifat Biochar:** Biochar berasal dari berbagai jenis biomassa dan diproses dengan berbagai metode, sehingga sifat-sifatnya dapat bervariasi secara signifikan. Penting untuk memahami bagaimana perbedaan dalam sifat-sifat biochar tersebut mempengaruhi kinerjanya dalam berbagai konteks aplikasi.
4. **Efek Sistemik:** Penerapan biochar dapat memiliki efek sistemik yang kompleks dalam lingkungan pertanian dan ekosistem. Studi yang lebih komprehensif diperlukan untuk memahami efeknya secara holistik, termasuk efeknya terhadap siklus karbon, nitrogen, dan air.

5. **Efek Sosial dan Ekonomi:** Penting untuk memahami dampak sosial dan ekonomi dari penerapan biochar, termasuk implikasinya terhadap mata pencaharian petani, ketersediaan pangan, dan keberlanjutan ekonomi lokal.

Strategi untuk mengatasi tantangan pemahaman ilmiah dalam penerapan biochar meliputi:

1. **Penelitian Lanjutan:** Melakukan penelitian lebih lanjut untuk memahami efek biochar secara mendalam, termasuk eksperimen lapangan dan studi jangka panjang untuk mengevaluasi dampaknya terhadap tanah, tanaman, dan lingkungan.
2. **Kolaborasi Multi-disiplin:** Melibatkan kolaborasi antara ilmuwan tanah, ahli pertanian, ahli ekologi, dan pakar lainnya untuk memahami efek biochar dari berbagai perspektif dan mengintegrasikan pengetahuan dari berbagai disiplin ilmu.
3. **Pendidikan dan Penyuluhan:** Mendidik petani, pembuat kebijakan, dan masyarakat tentang manfaat dan risiko biochar, serta cara terbaik untuk menerapkannya dengan tepat, berdasarkan pemahaman ilmiah yang ada.
4. **Monitoring dan Evaluasi:** Melakukan monitoring dan evaluasi terus-menerus terhadap proyek-proyek biochar untuk mempelajari dari pengalaman lapangan dan meningkatkan pemahaman kita tentang kinerja biochar dalam berbagai kondisi.

Dengan memperdalam pemahaman ilmiah tentang biochar dan menerapkan pengetahuan ini dalam praktik, kita dapat meningkatkan efektivitas penggunaannya dalam mengatasi tantangan lingkungan dan pertanian saat ini.

D. Perubahan Lahan

Produksi biochar membutuhkan biomassa sebagai bahan bakunya, yang bisa menyebabkan perubahan penggunaan lahan dan masalah terkait seperti deforestasi atau persaingan dengan tanaman pangan. Perubahan lahan yang terkait dengan

penerapan biochar dalam usaha tani jagung dapat mencakup beberapa aspek yang perlu diperhatikan:

1. **Penggunaan Lahan:** Produksi biomassa yang digunakan untuk biochar dapat mempengaruhi penggunaan lahan. Tergantung pada sumber biomassa yang digunakan, dapat terjadi perubahan dalam penggunaan lahan, seperti penanaman tanaman yang diperuntukkan sebagai biomassa.
2. **Pertumbuhan Tanaman:** Penggunaan biochar dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman jagung. Sifat-sifat biochar, seperti kemampuannya untuk meningkatkan ketersediaan nutrisi dan retensi air tanah, dapat memengaruhi hasil panen dan kesehatan tanaman.
3. **Perubahan Struktur Tanah:** Penerapan biochar dapat mempengaruhi struktur tanah, yang dapat berdampak baik atau buruk tergantung pada kondisi tanah awal dan sifat-sifat biochar yang digunakan. Perubahan ini dapat mempengaruhi drainase, infiltrasi air, dan retensi nutrisi dalam tanah.
4. **Pengurangan Emisi Karbon:** Salah satu tujuan penerapan biochar adalah mengurangi emisi karbon. Penggunaan biochar dalam tanah jagung dapat membantu menyimpan karbon di dalam tanah, mengurangi emisi ke atmosfer.
5. **Pengelolaan Limbah:** Penerapan biochar juga dapat melibatkan penggunaan limbah organik sebagai bahan baku. Ini dapat membantu dalam pengelolaan limbah dan mendaur ulang sumber daya.

Strategi untuk mengatasi tantangan perubahan lahan terkait dengan penerapan biochar dalam usaha tani jagung meliputi:

1. **Penelitian Lokal:** Melakukan penelitian dan uji coba di tingkat lokal untuk memahami efek biochar pada tanah dan pertumbuhan tanaman jagung dalam kondisi lokal.
2. **Pendidikan dan Pelatihan:** Mendidik petani tentang manfaat dan risiko penggunaan biochar dalam usaha tani jagung, serta memberikan pelatihan tentang cara terbaik mengaplikasikan biochar.

3. **Pemilihan Biomassa:** Memilih biomassa yang tepat untuk produksi biochar yang tidak bersaing dengan lahan pertanian utama dan tidak menyebabkan deforestasi atau degradasi habitat alam.
4. Manajemen **Berkelanjutan:** Mengintegrasikan penggunaan biochar dalam praktik pertanian yang berkelanjutan, termasuk praktik-praktik konservasi tanah dan air.
5. **Pengelolaan Risiko:** Memahami potensi risiko dan dampak biochar pada perubahan lahan, termasuk kemungkinan perubahan dalam penggunaan lahan dan produktivitas tanaman, dan mengambil langkah-langkah untuk memitigasi risiko tersebut.

Dengan memperhatikan tantangan ini dan menerapkan strategi yang sesuai, penerapan biochar dalam usaha tani jagung dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi produktivitas tanaman, kesehatan tanah, dan pengurangan emisi karbon, sambil meminimalkan dampak negatif terhadap perubahan lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aller, D., Rathke, S., Laird, D., Cruse, R., & Hatfield, J. (2017). Impacts of fresh and aged biochars on plant available water and water use efficiency. *Geoderma*, 307(August), 114–121. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.08.007>
- BPS. (2018). Luas Panen Jagung Menurut Provinsi, 2014 - 2018. [https://www.pertanian.go.id/Data5tahun/TPATAP-2017\(pdf\)/13-LPJagung.pdf](https://www.pertanian.go.id/Data5tahun/TPATAP-2017(pdf)/13-LPJagung.pdf)
- Burrell, L. D., Zehetner, F., Rampazzo, N., Wimmer, B., & Soja, G. (2016). Long-term effects of biochar on soil physical properties. *Geoderma*, 282, 96–102. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2016.07.019>
- Ceranic, M., Kosanic, T., Djuranovic, D., Kaludjerovic, Z., Djuric, S., Gojkovic, P., & Bozickovic, R. (2016). Experimental investigation of corn cob pyrolysis. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(6). <https://doi.org/10.1063/1.4966695>
- Cornelissen, G., Martinsen, V., Shitumbanuma, V., Alling, V., Breedveld, G. D., Rutherford, D. W., Sparrevik, M., Hale, S. E., Obia, A., Mulder, J., Box, P. O., & Division, W. R. (2013). Biochar Effect on Maize Yield and Soil Characteristics in Five Conservation Farming Sites in Zambia. 256–274. <https://doi.org/10.3390/agronomy3020256>
- Domingues, R. R., Trugilho, P. F., Silva, C. A., A, I. C. N., Melo, C. A., Magriotis, Z. M., Sa, M. A., & Melo, D. (2017). Properties of biochar derived from wood and high-nutrient biomasses with the aim of agronomic and environmental benefits. 1–19.
- Enders, A., Hanley, K., Whitman, T., Joseph, S., & Lehmann, J. (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Bioresource Technology*, 114, 644–653. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.022>

- FAO. (2011). The State of the World's land and water resources for Food and Agriculture. Managing systems at risk. In Food and Agriculture Organization. <https://doi.org/978-1-84971-326-9>
- FAO. (2015). Soils store and filter water. 14–17. <http://www.fao.org/3/a-i4890e.pdf>
- FAO. (2016). Save and Grow in Practice Maize Rice Wheat: A guide To Sustainable cereal production. In Journal of Chemical Information and Modeling (Vol. 53, Issue 9). FAO. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- FAO. (2017). Water for Sustainable Food and Agriculture Water for Sustainable Food and Agriculture. In A report produced for the G20 Presidency of Germany. <http://www.fao.org/3/a-i7959e.pdf>
- Fu, Y., Zhang, Q., & Liu, G. (2018). Effect of biochar and ameliorant on maize (*Zea mays* L.) growth in a field experiment. 155(Aeecs), 37–40. <https://doi.org/10.2991/aeecs-18.2018.9>
- Gao, S., Hoffman-Krull, K., Bidwell, A. L., & DeLuca, T. H. (2016). Locally produced wood biochar increases nutrient retention and availability in agricultural soils of the San Juan Islands, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 233, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.08.028>
- Günel, E., Erdem, H., & Çelik, İ. (2018). Effects of three different biochars amendment on water retention of silty loam and loamy soils. *Agricultural Water Management*, 208(May), 232–244. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.06.004>
- Hammes, K., & Schmidt, M. W. I. (2009). Changes of Biochar in Soil. In: Lehmann J, Joseph S (eds) *Biochar for environmental management science and technology* (Page: 33–43). In J. and J. S. Lehmann (Ed.), *Biochar for Environmental Management: Science and Technology and Implementation* (second, pp. 169–178). Earthscan in the UK and USA. <https://doi.org/doi.org/10.4324/9781849770552>.

- Isidoria, M., Gonzaga, S., Mackowiak, C., Quintao, A., Almeida, D., Ilmar, J., Carvalho, T. De, & Rocha, K. (2017). Catena Positive and negative effects of biochar from coconut husks , orange bagasse and pine wood chips on maize (*Zea mays* L.) growth and nutrition. *Catena*, October 2016, 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.10.018>
- Karhu, K., Mattila, T., Bergström, I., & Regina, K. (2011). Biochar addition to agricultural soil increased CH₄ uptake and water holding capacity - Results from a short-term pilot field study. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 140(1–2), 309–313. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2010.12.005>
- Lehmann, J. (2007). Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 381–387. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[381:BITB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[381:BITB]2.0.CO;2)
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for Environmental Management : An Introduction*. 1, 1–12.
- Lesk, C., Rowhani, P., & Ramankutty, N. (2016). Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*, 529(7584), 84–87. <https://doi.org/10.1038/nature16467>
- Li, S., & Tasnady, D. (2023). *Biochar for Soil Carbon Sequestration: Current Knowledge, Mechanisms, and Future Perspectives*.
- Ma, N., Zhang, L., Zhang, Y., Yang, L., & Yu, C. (2016). Biochar Improves Soil Aggregate Stability and Water Availability in a Mollisol after Three Years of Field Application. 1–10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154091>
- Molden, D. (2007). Water for food water for life: A Comprehensive assessment of water management in agriculture. In *Water for Food Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. <https://doi.org/10.4324/9781849773799>

- Murtaza, G., Ahmed, Z., Eldin, S. M., Ali, B., Bawazeer, S., Usman, M., Iqbal, R., Neupane, D., Ullah, A., & Khan, A. (2023). Biochar-Soil-Plant interactions : A cross talk for sustainable agriculture under changing climate. February. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1059449>
- Nurhayati, Jamil, A., & Anggraini, S. (2015). Potensi Limbah Pertanian sebagai Pupuk Organik Lokal di Lahan Kering Dataran Rendah Iklim Basah. *Iptek Tanaman Pangan*, 6(2), 193–202.
- Nurida, N. L. (2014). Potensi Pemanfaatan Biochar untuk Rehabilitasi Lahan Kering di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 57–68.
- Nzihou, A. (2020). Handbook on Characterization of Biomass , Biowaste and Related By-products.
- Raj, N., Mulder, J., Elizabeth, S., Martinsen, V., Peter, H., & Cornelissen, G. (2018). Science of the Total Environment Biochar improves maize growth by alleviation of nutrient stress in a moderately acidic low-input Nepalese soil. *Science of the Total Environment*, 625, 1380–1389. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.022>
- Rawat, J., Saxena, J., & Sanwal, P. (2019). Biochar : A Sustainable Approach for Improving Plant Growth and Soil Properties. <https://doi.org/DOI: 10.5772/intechopen.82151>
- Salma, A., Fryda, L., & Djelal, H. (2024). Biochar : A Key Player in Carbon Credits and Climate Mitigation.
- Samanta, A. K., Senani, S., Kolte, A. P., Sridhar, M., Sampath, K. T., Jayapal, N., & Devi, A. (2012). Production and in vitro evaluation of xylooligosaccharides generated from corn cobs. *Food and Bioproducts Processing*, 90(3), 466–474. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2011.11.001>
- Srivastava, R. K., Shetti, N. P., Reddy, K. R., & Aminabhavi, T. M. (2020). Sustainable energy from waste organic matters via efficient microbial processes. *Science of the Total*

- Sukmawati. (2020a). Bahan Organik Menjanjikan dari Biochar tongkol jagung, Cangkan dan Tandan Kosong Kelapa Sawit Berdasarkan Sifat kimia. *J. Agroplantae*, 9(2), 82-94.
<https://ppnp.e-journal.id/agro/article/view/223>
- Sukmawati. (2020b). Disertasi Perbaikan Retensi Air , Fosfor Dan Nitrogen Dari Biochar Yang Ditambahkan Bakteri Penghasil.
- Sukmawati. (2020c). Perbaikan Retensi Air Fosfor dan Nitrogen dari Biochar yang ditambahkan Bakteri Penghasil Alginat Untuk Peningkatan Produktivitas Lahan Kering (Disertasi) [Pasca Sarjana Unhas].
<http://repository.unhas.ac.id/id/eprint/3048/>
- Vinocur, B., & Altman, A. (2005). Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic stress: Achievements and limitations. *Current Opinion in Biotechnology*, 16(2), 123-132. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2005.02.001>
- Wang, C., Alidoust, D., Yang, X., & Isoda, A. (2018). Effects of bamboo biochar on soybean root nodulation in multi-elements contaminated soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150(December 2017), 62-69.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.12.036>
- Wang, D., Li, C., Parikh, S. J., & Scow, K. M. (2019). Impact of biochar on water retention of two agricultural soils – A multi-scale analysis. *Geoderma*, 340(January), 185-191.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.01.012>
- Xiao, Q., Zhu, L. xia, Shen, Y. fang, & Li, S. qing. (2016). Sensitivity of soil water retention and availability to biochar addition in rainfed semi-arid farmland during a three-year field experiment. *Field Crops Research*, 196, 284-293.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2016.07.014>

- Yan, N., Marschner, P., Cao, W., Zuo, C., & Qin, W. (2015). In fl uence of salinity and water content on soil microorganisms. *International Soil and Water Conservation Research*, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.11.003>
- Young, A. (1989). Agroforestry for soil conservation. In *Soil erosion and conservation (First)*. CAB International International Council for Research in Agroforestry. <http://apps.worldagroforestry.org/downloads/Publications/PDFS/B05682.pdf>
- Zhang, D., Pan, G., Wu, G., Kibue, G. W., Li, L., Zhang, X., Zheng, J., Zheng, J., Cheng, K., Joseph, S., & Liu, X. (2016). Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol. *Chemosphere*, 142, 106–113. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.04.088>
- Zielińska, A., Oleszczuk, P., Charmas, B., Skubiszewska-Zięba, J., & Pasieczna-Patkowska, S. (2015). Effect of sewage sludge properties on the biochar characteristic. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 112, 201–213. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2015.01.025>
- Zong, Y., Chen, D., & Lu, S. (2014). IZong, Y., Chen, D., & Lu, S. (2014). Impact of biochars on swell – shrinkage behavior, mechanical strength, and surface cracking of clayey soil, (1), 920–926.m pact of biochars on swell – shrinkage behavior, mechanical strength, and surface cracking o. 1, 920–926.

TENTANG PENULIS



Sukmawati adalah salah satu dosen di Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Peternakan dan Perikanan Universitas Muhammadiyah Parepare. Lahir di Soppeng pada tanggal 6 Agustus 1976. Menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) pada jurusan Budidaya Pertanian UNHAS (1999), Magister pertanian (S2) pada prodi Sistem-sistem pertanian UNHAS (2014), dan pendidikan Dokter (S3) bidang Ilmu Pertanian di Universitas Hasanuddin (2020). Penulis bergabung dengan beberapa asosiasi terkait keilmuan diantaranya: Perhimpunan Hortikultura Indonesia (PERHORTI), Perhimpunan Agronomi Indonesia (PERAGI), Ikatan Arsitektur Lansekap Indonesia (IALI) dan Masyarakat Penginderaan Jarak Jauh Indonesia (MAPIN).

Tahun 2012 menjadi dosen di prodi agroteknologi Fapeterik Universitas Muhammadiyah Parepare dan mengampu beberapa matakuliah, diantaranya: Botani umum, Ekologi pertanian, Pengantar agronomi, Konservasi tanah dan air dan Pengantar ilmu lansekap. Penulis aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat sejak tahun 2014-sekarang. Penelitian yang dilakukan terfokus ada pertanian lahan kering berbasis pada pemanfaatan biochar dan bakteri penghasil alginat. Dari kegiatan penulis berhasil mempublikasikan artikel baik di jurnal nasional terakreditasi, jurnal internasional terakreditasi bereputasi scopus Q3 dan Q 4 serta prosiding internasional terindeks scopus, diantaranya: *Analisis ketersediaan C-organik di lahan kering setelah diterapkan berbagai model sistem pertanian hedgerow* (2015), *Identifikasi kombinasi biochar dan kompos limbah tanaman pangan terhadap dinamika sifat kimia tanah* (2018), *Developing Agricultural Land Geospatial Information in Supporting Regional Food Resilience* (2019), *Karakterisasi sifat kimia biochar dari tongkol jagung, cangkang dan tandan kosong kelapa sawit: Bahan organik menjanjikan dari limbah pertanian* (2020), *Spatial Analysis in GIS for Planning Regional in Supporting the Superior Food Commodities* (2020), *Biochar interventions enriched with alginate-producing bacteria support the*

growth of maize in degraded soil (2020), Exploring of promising bacteria from the rhizosphere of maize, cocoa and lamtoro (2020), Pertumbuhan dan produksi jagung pulut pada sistem pertanian terpadu di lahan kering berbasis alley cropping (2021). A new strain of bacteria isolated from chemically saturated corn rhizosphere under the dominance of the mineral kaolinite (2023) Kegiatan pengabdian berfokus pada implementasi teknologi biochar berpolimer alami pada pertanian lahan kering yang berbasis offset karbon dan pelibatan petani dalam *Voluntary Carbon Market*. Selain itu bekerjasama dengan Yayasan Agathis Dammara Karbon dalam trading karbon berbasis petani kecil.



Bahruddin adalah salah satu dosen di Program Studi Ekonomi Pembangunan Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Muhammadiyah Parepare. Lahir di Enrekang pada tanggal 1 Februari 1986. Pendidikan dasar hingga pendidikan menengah pertama diselesaikan di Kabupaten Enrekang (SDN 115 Pasang 1999, SLTP 5 Maiwa 2002) dan di lanjutkan tingkat pendidikan menengah atas diselesaikan di Kota Parepare (SMK 2 Kota Parepare 2005). Menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) pada jurusan Ekonomi Pembangunan UMPAR (2012) dan Magister Ilmu Ekonomi (S2) UMI (2017), Penulis bergabung dengan asosiasi Program Studi Ekonomi Pembangunan Perguruan Tinggi Muhammadiyah (PTM) Se- Indonesia.

Tahun 2019 menjadi dosen di prodi Ekonomi Pembangunan FEB Universitas Muhammadiyah Parepare dan mengampu beberapa matakuliah, diantaranya: Ekonomi Mikro dan Ekonomi Desa. Penulis aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat sejak tahun 2019-sekarang. Penelitian yang dilakukan fokus dengan peningkatan perekonomian serta kesejahteraan masyarakat. Dari kegiatan penelitian penulis berhasil mempublikasikan artikel di jurnal nasional terakreditasi, diantaranya: Analisis Faktor- Faktor yang Mempengaruhi Pendapatan Petani Padi di Kecamatan Patampanua Kabupaten

Pinrang (2020), Faktor- Faktor yang Mempengaruhi Imigrasi Suku Jawa di Kota Parepare (2022), *The Role of the Manpower Office in Fostering Micro, Small and Medium Enterprises (MSMES) In Parepare City*. Kegiatan pengabdian banyak terkait dengan kerjasama dengan PEMDA.



Harsani, lahir di Wonomulyo, Kabupaten Polewali Mandar pada 10 Februari 1989. Merupakan anak ke tiga dari lima bersaudara. Lahir dari pasangan Haruna dan Hj. Sahariah. Penulis menempuh pendidikan SD, SMP dan SMA di Kabupaten Polewali Mandar. Melanjutkan Pendidikan jenjang S1 di Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar dan Selesai tahun 2012. Penulis Melanjutkan program Magister pada Sistem-Sistem Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar dan selesai pada tahun 2014. Penulis aktif sebagai tenaga dosen terhitung sejak 2015 pada program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Peternakan dan Perikanan Universitas Muhammadiyah Parepare hingga 2022, dan pada tahun yang sama Maret 2022 beralih ke Politeknik Pertanian Negeri Pangkajene Kepulauan pada program Studi Pengelolaan Perkebunan Kopi. Penulis juga aktif dalam kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat. Kegiatan penelitian focus pada perbaikan kualitas kesuburan tanah. Pada bidang pengabdian penulis Mendampingi kelompok tani dalam meningkatkan pendapatan dengan sistem budidaya pertanian terpadu selain itu juga membina kelompok PKK dalam mengolah limbah organik rumah tangga menjadi kompos dengan berbudidaya maggot. Beberapa buku yang telah dihasilkan seperti, Pertanian Terpadu (Integrasi Tanaman Lada, Gamal dan ternak kambing), Ilmu Usahatani, dan Ekologi Tanaman.



Sri Nur Qadri adalah salah satu dosen di Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Peternakan dan Perikanan Universitas Muhammadiyah Parepare. Lahir di Bakke Kabupaten Soppeng pada tanggal 11 Desember 1994 Pendidikan dasar hingga pendidikan menengah atas diselesaikan di Kabupaten Soppeng (SDN 78 Bakke 2006, SMP Perguruan Islam Ganra 2009, SMAN 1 Soppeng 2013). Menyelesaikan pendidikan sarjana (S1) pada jurusan Agroteknologi UNHAS (2017), Magister pertanian (S2) pada prodi Agroteknologi UNHAS (2019)

Tahun 2022 menjadi dosen di prodi agroteknologi Fapeterik Universitas Muhammadiyah Pare-pare dan mengampu beberapa matakuliah, diantaranya: Survey dan analisis lahan , Agroklimatologi, dan Evaluasi usaha pertanian. Penulis aktif melakukan kegiatan penelitian dan pengabdian kepada masyarakat sejak tahun 2022-sekarang. Penelitian yang dilakukan terfokus pada Budidaya tanaman tembakau dari kegiatan penelitian penulis berhasil mempublikasikan artikel di jurnal nasional terakreditasi. Kegiatan pengabdian banyak terkait dengan kerjasama dengan PEMDA dan kelompok tani.



Syamsiar Zamzam adalah salah satu dosen di Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Peternakan dan Perikanan Universitas Muhammadiyah Parepare. Lahir di Jampue Kab. Pinrang. Pendidikan dasar hingga pendidikan menengah atas diselesaikan di Kabupaten Soppeng (SD Muhammadiyah Jampue 2006, SMP Negeri 2 Mattiro Sompe 2009, SMA Neger 1 Lanrisan 2012. Menyelesaikan pendidikan Sarjana (S1) pada Prodi Agroteknologi Fakulta Pertanian, Peternakan dan Perikanan Universitas Muhammadiyah Parepare (2018), Menyelesaikan Magister (S2) Prodi Agroteknologi

Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin Makassar (2021). Penulis Aktif di Organisasi Ikatan Mahasiswa Muhammadiyah (IMM) sejak tahun 2015.

Tahun 2022 penulis menjadi dosen di Prodi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Peternakan dan Perikanan Universitas Muhammadiyah Pare-pare dan mengampu beberapa matakuliah, diantaranya: Pengantar Ilmu Pertanian, Teknologi tanpa tanah, Urban farming, Fisiologi dan teknologi pascapanen, manajemen pertanaman, dan pengantar ilmu lansekap. Penulis aktif melakukan penelitian dan pengabdian sejak tahun 2022 sampai sekarang. Dari kegiatan penelitian dan pengabdian penulis menghasilkan artikel yang dipublikasikan di jurnal nasional terakreditasi kemdikbudristek. Penelitian yang dilakukan berfokus pada pertanian organik dengan memanfaatkan berbagai jenis limbah pertanian menjadi biochar yang dapat digunakan sebagai pembenah tanah.