

Bidang Unggulan : Ketahanan dan Keamanan Pangan
Kode/ Nama Rumpun Ilmu : 151/ Ilmu Tanah

LAPORAN AKHIR TAHUN
PENELITIAN UNGGULAN PERGURUAN TINGGI



JUDUL PENELITIAN
KARAKTERISASI BIOCHAR-PUPUK ORGANIK
PADA BEBERAPA JENIS TANAH DI LAHAN KERING

Tahun ke-1 dari rencana 4 tahun

Ketua Tim Peneliti:

Dr. Ir. Widowati, MP (NIDN 0024086506)

Anggota Tim:

Sutoyo, SP., MP (NIDN 0002076012)
Ir. Taufik Iskandar, MAP (NIDN 0731105801)
Hidayati Karamina, SP., SH., MP (NIDN 0704019101)

Dibiayai oleh:

Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat
Direktorat Jenderal Penguatan Riset dan Pengembangan
Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi
Sesuai dengan Kontrak Penelitian
Nomor: 120/SP2H/LT/DRPM/IV/2017 tanggal 3 April 2017

UNIVERSITAS TRIBHUWANA TUNGGADDEWI

MALANG

OKTOBER 2017

HALAMAN PENGESAHAN

Judul : Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Iklim Kering

Peneliti/Pelaksana
Nama Lengkap : Dr. Ir WIDOWATI, M.P
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi
NIDN : 0024086506
Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
Program Studi : Agroteknologi
Nomor HP : 0822 4571 1408
Alamat surel (e-mail) : widwidowati@gmail.com

Anggota (1)
Nama Lengkap : SUTOYO S.P, M.P
NIDN : 0002076012
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi

Anggota (2)
Nama Lengkap : Ir TAUFIK ISKANDAR MAP
NIDN : 0731105801
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi

Anggota (3)
Nama Lengkap : HIDAYATI KARAMINA S.H., S.P, M.P
NIDN : 0704019101
Perguruan Tinggi : Universitas Tribhuwana Tungga Dewi

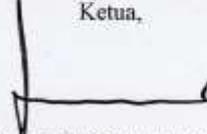
Institusi Mitra (jika ada)
Nama Institusi Mitra : -
Alamat : -
Penanggung Jawab : -
Tahun Pelaksanaan : Tahun ke 1 dari rencana 4 tahun
Biaya Tahun Berjalan : Rp 122,500,000
Biaya Keseluruhan : Rp 648,510,000

Mengetahui,
Dekan Fakultas Pertanian



(Dr. Ir. Amir Hamzah, MP)
NIP/NIK 196705272005011001

Kota Malang, 25 - 10 - 2017
Ketua,



(Dr. Ir. WIDOWATI, M.P)
NIP/NIK 196508241993022001

Menyetujui,
Ketua LPPM



(Dr. Ir. Eko Marhanianto, MP)
NIP/NIK 19681003200501001

PRAKATA

Puji syukur dan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia, rakmat, dan hikmatNya sehingga laporan kemajuan Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi (PUPT) tahun pertama (2017) dapat diselesaikan. Penelitian yang berjudul “Karakterisasi Biochar-Pupuk Organik pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering” merupakan penelitian yang mendukung tercapainya RENSTRA PENELITIAN PT di bidang unggulan Ketahanan Pangan dan salah satu topik unggulannya adalah *Pengembangan Teknologi Produksi Pangan Ramah Lingkungan*. Penelitian ini menawarkan sebuah pengembangan teknologi pengelolaan tanah dengan menggunakan biochar-pupuk organik sebagai salah satu alternatif untuk meningkatkan produktivitas lahan kering. Biochar dan pupuk organik sebagai bahan pembenah tanah yang dapat menghemat pemakaian pupuk anorganik sehingga berdampak pada kualitas pangan, kesehatan, dan ramah lingkungan.

Pada kesempatan ini, perkenankan kami menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada Kemenristek-Dikti yang telah menyediakan dana penelitian pada scheme Hibah PUPT yang direncanakan akan diselesaikan dalam waktu 4 tahun (2017-2020).

Penulis sadar sepenuhnya bahwa tidak ada yang sempurna di dunia ini, begitu pula dengan laporan kemajuan ini. Oleh karena itu masukan, kritik dan saran sangat penulis harapkan demi perbaikan dan sempurnanya tulisan di masa mendatang. Harapan penulis, kiranya tulisan ini bermanfaat bagi masyarakat luas dan membawa hasil yang membangun bagi pertanian lahan kering.

Malang, Oktober 2017

Peneliti,

Widowati

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	i
Prakata	ii
Daftar Isi	iii
Daftar Tabel	v
Daftar Gambar	vi
Daftar Lampiran	vii
Ringkasan	viii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Urgensi Penelitian	4
1.2 Pentingnya Riset yang Mendukung Capaian Renstra Penelitian PT	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Bahan Baku Biomasa	8
2.2 Komposisi Biochar	13
2.3 Karakteristik Fisik Biochar	17
2.4 Nutrisi Biochar	23
2.5 Karakteristik Biologi Biochar	36
2.6 Impact Biochar Dalam Tanah	43
2.7 Jenis Tanah	52
2.8 Lahan kering	55
BAB III TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	
3.1 Tujuan Penelitian	61
3.2 Manfaat Penelitian	61
BAB IV METODE PENELITIAN	
4.1 Produksi biochar	62
4.2 Inkubasi biochar dan pupuk organik di dalam tanah	62
BAB V HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI	
5.1 Karakteristik Jenis Tanah	66
5.2 Karakteristik Biochar dan Pupuk Organik	66
5.3 Pengaruh jenis biochar dan pupuk organik pada sifat fisik pada beberapa jenis tanah	69
5.4 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kandungan bahan organik tanah pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	77
5.5 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kapasitas Tukar Kation (KTK) pada tanah litosol, mediteran, dan Regosol	85

5.6 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	92
5.7 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kejenuhan Basa (KB) pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	99
5.8 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kation Basa pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	105
5.9 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Nitrogen pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	111
6.0 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Phosfor pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	119
6.1 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Kalium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	125
6.2 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Calsium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	131
6.3 Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Magnesium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol	138

BAB VI RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan.....	149
7.2 Saran.....	152

DAFTAR PUSTAKA	153
LAMPIRAN.....	158

DAFTAR TABEL

No		Halaman
Tabel 1.	Karakteristik tanah sebelum penelitian	66
Tabel 2.	Karakteristik biochar, biomasa, dan pupuk organik	68
Tabel 3.	Bobot isi tanah pada masing-masing jenis tanah	70
Tabel 4.	Bobot partikel tanah pada masing-masing jenis tanah	72
Tabel 5.	Porositas tanah pada masing-masing jenis tanah	73
Tabel 6.	Persentase pori makro pada masing-masing jenis tanah	74
Tabel 7.	Persentase pori meso pada masing-masing jenis tanah	76
Tabel 8.	Persentase pori mikro pada masing-masing jenis tanah	77
Tabel 9.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-7	79
Tabel 10.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-14	80
Tabel 11.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-28	81
Tabel 12.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-56	82
Tabel 13.	Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah pada inkubasi hari ke-98	83
Tabel 14.	Hasil analisis nested design	86
Tabel 15.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-7	87
Tabel 16.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-14	88
Tabel 17.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-28	89
Tabel 18.	KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-56	90
Tabel 19.	Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-98	91
Tabel 20.	Hasil analisis nested design pH tanah pada inkubasi 7 – 98 hari	93
Tabel 21.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	94
Tabel 22.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	95
Tabel 23.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	96
Tabel 24.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	96

Tabel 25.	pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	97
Tabel 26.	Hasil analisis nested design kejenuhan basa pada inkubasi 7 – 98 hari	99
Tabel 27.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	100
Tabel 28.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	101
Tabel 29.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	101
Tabel 30.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	102
Tabel 31.	Kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	103
Tabel 32.	Hasil analisis nested design dari kation basa pada inkubasi 7 – 98 hari	105
Tabel 33.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	106
Tabel 34.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	107
Tabel 35.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	107
Tabel 36.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	108
Tabel 37.	Kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	109
Tabel 38.	Hasil analisis nested design kadar N tanah pada inkubasi 7 – 98 hari	112
Tabel 39.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	113
Tabel 40.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	114
Tabel 41.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	115
Tabel 42.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	116
Tabel 43.	Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	117
Tabel 44.	Hasil analisis nested design kadar P tanah pada inkubasi 7 – 98 hari	119
Tabel 45.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	120
Tabel 46.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	121
Tabel 47.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	122
Tabel 48.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	123
Tabel 49.	Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	124
Tabel 50.	Hasil analisis nested design	126

Tabel 51.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	127
Tabel 52.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14	128
Tabel 53.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28	128
Tabel 54.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 51	129
Tabel 55.	Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98	130
Tabel 56.	Hasil analisis nested design	132
Tabel 57.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7	133
Tabel 58.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14	134
Tabel 59.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28	134
Tabel 60.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56	135
Tabel 61.	Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98	136
Tabel 62.	Hasil analisis nested design kadar Mg pada inkubasi 7 – 98 hari	139
Tabel 63.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari	140
Tabel 64.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari	141
Tabel 65.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari	142
Tabel 66.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari	143
Tabel 67.	Kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari	143

DAFTAR GAMBAR

No		Halaman
Gambar 1	Diagram menunjukkan hubungan antara sifat biochar (lingkaran luar), tanah (lingkaran menengah) dan sebuah biota tanah (lingkaran dalam)	5
Gambar 2	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah regosol	84
Gambar 3	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah litosol	84
Gambar 4	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah mediteran	85
Gambar 5.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah litosol	91
Gambar 6.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah mediteran	92
Gambar 7.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah regosol	92
Gambar 8.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah litosol	98
Gambar 9.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah mediteran	98
Gambar 10.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah regosol	99
Gambar 11.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah litosol	103
Gambar 12.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah mediteran	104
Gambar 13.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah regosol	104
Gambar 14.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah litosol	110
Gambar 15.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah mediteran	110
Gambar 16.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah regosol	111
Gambar 17.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah litosol	117

Gambar 18.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah mediteran	118
Gambar 19.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah regosol	118
Gambar 20.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah litosol	124
Gambar 21.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah mediteran	125
Gambar 22.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah regosol	125
Gambar 23.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah litosol	130
Gambar 24.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah mediteran	131
Gambar 25.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah regosol	131
Gambar 26.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah litosol	137
Gambar 27.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah mediteran	137
Gambar 28.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah regosol	138
Gambar 29.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada tanah litosol	145
Gambar 30.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada tanah mediteran	145
Gambar 30.	Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Mg pada tanah regosol	146

DAFTAR LAMPIRAN

No		Halaman
Lampiran 1	Sertifikat pemakalah internasional	158
Lampiran 2	Bukti email tentang artikel yang telah diterima dan Pembayaran	159
Lampiran 3	Naskah artikel telah diterima di jurnal Bioseince Research	161

RINGKASAN

Lahan kering di Kabupaten Malang berpotensi dikembangkan untuk pertanian. Dalam jangka panjang penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tanah di lahan kering sehingga masa tanam diperpanjang/indeks pertanaman ditingkatkan dan ketahanan pangan terwujud. Hal ini didekati dengan beberapa percobaan yang akan dilakukan dalam waktu 4 tahun. Percobaan tahun pertama lebih menekankan bagaimana pengaruh langsung dari karakteristik biochar-pupuk organik terhadap kontribusi unsur hara sebelum ada interaksi dengan tanaman maupun kemampuannya sebagai bahan pembenah pada beberapa jenis tanah. Biochar memiliki dampak pada ketersediaan hara dalam tanah baik sebagai unsur hara maupun retensi hara. Penelitian ini bertujuan untuk (1). mendapatkan karakterisasi biochar-pupuk organik dari jenis biomasa, (2). menentukan waktu inkubasi terbaik untuk meningkatkan bahan organik tanah yang akan mempengaruhi kesuburan tanah, (3). mengkaji perubahan unsur hara dan sifat-sifat tanah dari berbagai jenis biochar-pupuk organik dan dari jenis tanah. Penelitian bermanfaat untuk manajemen tanah yang lebih efektif dari sifat-sifat tanah yang berbeda sehingga mendapatkan manfaat yang maksimal dari penerapan biochar dan pupuk organik pada lahan kering.

Pada tahun I telah dilakukan percobaan dalam pot plastik di rumah kaca, di Dusun Bawang, Desa Tunggulwulung, Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Penelitian ini menggunakan 3 sampel tanah yang berasal dari 3 kecamatan di Kabupaten Malang Selatan dari agroekosistem lahan kering yang secara alami memiliki produktivitas tanah rendah. Jenis tanah yang diambil mewakili proses pembentukan dan perkembangan tanah. Jenis tanah dari Kec. Poncokusumo adalah Regosol (baru berkembang), dari Kec. Donomulyo adalah Litosol (berkembang tidak sempurna), dan dari Kec. Kalipare adalah (sedang berkembang). Pembentukan dan perkembangan tanah mempengaruhi karakteristik jenis tanah. Biochar dari 3 jenis biomasa (sekam padi, tongkol jagung, jengkok tembakau). Pupuk organik berupa kompos dan pupuk kandang ayam.

Hasil penelitian karakterisasi terhadap sifat kimia menunjukkan kenaikan awal bahan organik tanah pasir berlempung terjadi pada hari ke-14 sedangkan pada tanah liat pada hari ke-7, yakni dari 0,7% menjadi 2,5% (regosol) dan dari 1,6% menjadi 3,9% (litosol) dan dari 1,1% menjadi 2,0% (mediteran). Bahan organik tanah regosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau pada hari ke-14 sampai ke-56, selanjutnya dari campuran biochar tongkol jagung dan kompos pada hari ke-98. Bahan organik tanah litosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau, biochar tongkol jagung, maupun campuran biochar jengkok dan kompos dari waktu ke waktu. Bahan organik tanah mediteran tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau maupun biochar tongkol jagung dari waktu ke waktu. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan nilai KTK tanah litosol, tetapi yang dicampur dengan kompos terbaik untuk meningkatkan nilai KTK mediteran. Penggunaan biochar jengkok dan biochar tongkol secara tunggal dan biochar sekam padi yang dicampur pupuk kandang ayam merupakan terbaik terbaik pada tanah regosol.

Hasil karakterisasi terhadap sifat fisik menunjukkan bahwa perbaikan sifat fisik tanah liat lebih baik menggunakan kombinasi jenis biochar dengan pupuk organik. Kombinasi biochar tongkol dengan pupuk kandang pada tanah litosol

meningkatkan porositas dan pori makro, masing-masing sebesar 14% dan 21-24%. Kombinasi biochar jengkok dengan kompos meningkatkan porositas dan pori makro pada mediteran, berturut-turut sebesar 21% dan 64% akan tetapi pori mikro menurun 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1%. Biochar jengkok dapat menurunkan pori meso tanah litosol sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0%. Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada mediteran. Pori mikro berkurang 12% dari perlakuan kombinasi pupuk kandang dengan biochar sekam maupun dengan biochar tongkol, dan kombinasi biochar jengkok dengan kompos pada litosol. Penggunaan biochar dan pupuk organik pada tanah lempung berpasir dapat meningkatkan pori meso sebesar 28,4% dari 9,6% menjadi 13,4%. Akan tetapi pori makro menurun 21% hanya dengan pupuk kandang ayam pada regosol. Hasil karakterisasi pada sifat kimia menunjukkan bahwa jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan kimia tanah pada berbagai umur pengamatan. Penggunaan biochar-pupuk organik secara tunggal maupun campuran menunjukkan perubahan sifat fisik dan kimia yang berbeda pada masing-masing jenis tanah. Kenaikan awal bahan organik tanah pasir berlempung terjadi pada hari ke-14 sedangkan pada tanah liat pada hari ke-7, yakni dari 0,7% menjadi 2,5% (regosol) dan dari 1,6% menjadi 3,9% (litosol) dan dari 1,1% menjadi 2,0% (mediteran). Bahan organik tanah regosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau pada hari ke-14 sampai ke-56, selanjutnya dari campuran biochar tongkol jagung dan kompos pada hari ke-98. Bahan organik tanah litosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau, biochar tongkol jagung, maupun campuran biochar jengkok dan kompos pada waktu-waktu tertentu. Bahan organik tanah mediteran tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau maupun biochar tongkol jagung dari waktu ke waktu. Inkubasi 7 hari terbaik untuk meningkatkan nilai KTK dari ketiga tanah. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan nilai KTK tanah litosol. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan kompos terbaik untuk meningkatkan nilai KTK mediteran. Penggunaan biochar jengkok dan biochar tongkol secara tunggal dan biochar sekam padi yang dicampur pupuk kandang ayam yang terbaik untuk meningkatkan KTK pada tanah regosol. Kadar K yang tertinggi pada biochar jengkok belum tentu memberikan kontribusi kalium yang terbanyak pada suatu jenis tanah pada suatu waktu. Biochar jengkok akan meningkatkan kadar kalium tanah terbesar pada litosol (7 hari), regosol (14-56 hari). Kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik. Campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya. Peningkatan kadar N tanah regosol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Peningkatan kadar N tanah mediteran lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya. Pada awal inkubasi, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan pupuk kandang sebesar 13,6 kali lipat (regosol) dan 23,3 kali lipat (mediteran). Berbeda pada litosol, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan biochar tongkol+pupuk kandang sebesar 7,9 kali lipat (kontrol). Kadar P tertinggi pada mediteran dari perlakuan pupuk kandang selama 98 hari

regosol berlangsung hingga 56 hari, sedangkan mediteran berlangsung pada 14 hingga 56 hari. Pada 14 hari inkubasi, pemberian biochar jengkok meningkatkan kadar Ca pada ketiga jenis tanah.

Kata kunci : biomasa, karakterisasi, produktivitas, keberlanjutan

BAB I

PENDAHULUAN

Kabupaten Malang memiliki wilayah seluas 324.423 ha dan terletak pada urutan luas terbesar kedua setelah Kabupaten Banyuwangi dari 38 kabupaten/kota di wilayah Propinsi Jawa Timur. Berdasarkan data dari Kementerian Pertanian tahun 2013, luas lahan suboptimal di Indonesia yang sesuai untuk lahan pertanian mencapai 91,9 juta ha. Lahan terluas adalah lahan kering masam seluas 62,6 juta ha (68,1%), lahan pasang surut seluas 9,3 juta ha (10,1%), lahan kering iklim kering seluas 7,8 juta ha (8,2%), lahan gambut seluas 4,7 juta ha (5,1%). Di Jawa Timur, luas lahan ladang/huma dan tegal/kebun pada tahun 2012 mencapai 1.167.572 ha, khusus di Kab. Malang mencapai 104.512 ha (9%).

Lahan kering sangat potensial dikembangkan mengingat luasan lahan subur terbatas, ketersediaan dan penggunaan lahan pertanian berkurang, dan ketidakmungkinan perluasan areal baru untuk lahan pertanian. Satari (1977) menyatakan lahan kering adalah lahan yang dalam keadaan alamiahnya sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun berada di bawah kapasitas lapang.

Pada umumnya luas wilayah di Kabupaten Malang sebagian besar adalah bertekstur sedang 248.142,51 Ha atau 74,12 % dari luas wilayah. Tanah dengan tekstur halus mempunyai luas wilayah sebesar 82.944,49 Ha atau 24,79 % sedangkan tanah dengan tekstur kasar mempunyai luas sebesar 3.650,00 Ha atau 1,09 % dari seluruh luas wilayah Kabupaten Malang. Jenis tanah yang ada di Kabupaten Malang terdiri dari jenis tanah andosol, latosol, mediteran, litosol, alluvial, regosol dan brown forest. Penyebaran jenis tanah ini tidak seluruhnya tersebar di kecamatan-kecamatan yang ada di Kabupaten Malang.

Proses pembentukan dan perkembangan tanah dipengaruhi bahan induk, topografi, iklim, organisme, dan waktu (Hanafiah, 2005). Kelima faktor pembentuk tanah akan menghasilkan berbagai jenis tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda sehingga menjadi bagian penting dalam upaya mengelola tanah. Kendala internal lahan kering berkaitan dengan bahan induk tanah yang mempengaruhi tingkat kesuburan tanah dan faktor eksternal seperti iklim yang

menyebabkan produktivitas rendah. Informasi dari Dinas Pertanian Tanaman Pangan Jatim (2013), bahwa produksi jagung seluas 218 ha sebesar 936,65 ton (4.3 ton/ha) dan produktivitas 42,97 (kw/ha).

Masalah yang seringkali muncul pada lahan kering adalah kapasitas menahan air dan ketersediaan air yang rendah sehingga menyebabkan cekaman kekeringan, peka terhadap erosi, mempunyai topsoil yang tipis, bahan organik rendah sehingga menyebabkan kapasitas adsorpsi dan kapasitas tukar kation rendah dan unsur hara mudah tercuci, miskin unsur hara N, P, K, Ca, Mg sehingga memerlukan pemupukan anorganik dengan dosis tinggi.

Beberapa upaya telah dilakukan untuk meningkatkan produktivitas lahan kering, diantaranya penataan lahan, pengelolaan air, pengelolaan tanaman, menggunakan bentuk-bentuk pola tanam, sistem pertanian konservasi tanah, pengelolaan bahan pembenah tanah, pengelolaan pemupukan anorganik, dan pengendalian gulma. Beberapa hasil penelitian tentang penggunaan bahan pembenah tanah untuk merehabilitasi lahan kering terdegradasi telah dilakukan, seperti zeolit (Sutono dan Agus, 1998), pupuk kandang (Abdurahman *et al.*, 2000), biomassa flemingia dan sisa tanaman (Nurida, 2006), dan biomasa tumbuhan dominan di lahan kering (Djoko, 2006). Beberapa penelitian yang menggunakan biochar sebagai bahan pembenah tanah, diantaranya pada lahan kering masam terdegradasi Taman Bogo Lampung (Nurida *et al.*, 2012), pada tanah sulfat masam di Kalimantan (Masulili *et al.*, 2010), lahan kering beriklim kering (Dairiah *et al.*, 2012), tanah lempung berpasir di Lombok Utara (Sukartomo *et al.*, 2011 dan Suwardji *et al.*, 2012), dan lahan kering dari wilayah berkapur Malang Selatan (Tambunan *et al.*, 2014), dan tanah yang sedang terdegradasi (Widowati *et al.*, 2014).

Hasil-hasil penelitian tentang penggunaan biochar telah membuktikan bahwa biochar merupakan bahan amandemen tanah yang sangat prospektif (Wolf, 2008). Di samping dapat memperbaiki sifat tanah, penggunaan biochar pada tanah tropika dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara tanah dalam jangka panjang (Glaser *et al.*, 2002; Rondon *et al.*, 2007; Steiner *et al.*, 2008), meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat fisika, kimia, dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002; Chan *et al.*, 2007), memperbaiki srtuktur tanah, meningkatkan

kapasitas penyimpanan air tanah dan menurunkan kekuatan tanah (Chan *et al.* (2007), memegang air pada tanah bertekstur pasir (Sutono *et al.*, 2012). Steiner *et al.* (2008) dan Widowati *et al.* (2012) melaporkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan efisiensi pemupukan N, pemupukan NPK pada tanah typic Dystrudepts (Sudjana, 2014), meningkatkan retensi air dan kapasitas menyimpan air tanah (Santi dan Goenadi, 2012). Penggunaan biochar dapat meningkatkan retensi air dan hara sehingga dapat mengurangi penggunaan pupuk anorganik di lahan kering beriklim kering di NTT. Biochar ranting pohon legum dosis 10 t ha⁻¹ dapat meningkatkan pori aerase dari 16,7% vol menjadi 23,23% - 28,23% vol, pori air tersedia tanah (sangat rendah) dari 2,73% menjadi 4,62% (sangat rendah) dan 5,45% vol (rendah) (Nurida *et al.*, 2009). Khususnya wilayah lahan kering berkapur Malang Selatan, Tambunan *et al.* (2014) menyebutkan biochar serasah jagung 20 t/ha ditambah serasah jagung 40 t/ha dapat meningkatkan P tersedia (242,95%) dan KTK (10,40%) tetapi aplikasi biochar serasah jagung 20 t/ha dapat menurunkan pH (14,47%) dan Ca (27,19%) pada tanaman jagung.

Sampai saat ini pemanfaatan lahan kering belum optimal terutama untuk lahan yang telah diusahakan apalagi untuk lahan yang belum dimanfaatkan. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan kering dengan menggunakan bahan organik. Bahan organik sebagai bahan pembenah tanah maupun sumber unsur hara memiliki sifat dan ciri yang berbeda, termasuk sifat stabil (biochar) dan labil (pupuk organik). Biochar adalah produk dari dekomposisi termal biomassa yang dihasilkan oleh sebuah proses yang disebut pirolisis. Menurut Srinivasarao *et al.* (2013), konversi biomassa sisa tanaman menjadi biochar dan menggunakan char sebagai amandemen tanah adalah pendekatan baru dan disarankan sebagai alternatif untuk kompos dan pembakaran sisa tanaman. Gugus-gugus fungsional bahan organik mampu mengikat air karena agregasi tanah yang lebih baik dalam membentuk pori-pori. Asai *et al.*, (2009) melaporkan biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air sehingga ketersediaan nutrisi lebih baik. Peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air bahan biochar (Ammu *et al.*, 2015). Porositas tinggi juga

mengakibatkan KTK tinggi dari bahan biochar. Kenaikan luas permukaan memberikan adsorpsi yang lebih besar dan ruang untuk retensi air dan nutrisi (Lehmann et al., 2003).

Perubahan dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Penelitian karakterisasi dari jenis biochar terbatas jumlahnya. Oleh karena itu diperlukan penelitian variasi dalam karakteristik jenis biochar termasuk dampak dari karakteristik biochar-pupuk organik pada karakteristik tanah. Campuran bahan organik yang berbeda sifat untuk mengembangkan produk yang berbeda sesuai dengan jenis tanah guna meningkatkan reaksi lebih lanjut terhadap nilai hara.

1.1. Urgensi Penelitian

Lahan kering di Kabupaten Malang sangat potensial dikembangkan untuk pertanian. Wilayah Kecamatan Poncokusumo, Donomulyo, dan Kalipare memiliki sifat dan ciri tanah yang berbeda. Secara geografis, Desa Purwodadi (Kecamatan Donomulyo) terletak di dataran tinggi dengan jenis Litosol. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah <30 cm), tergolong tanah muda yang miskin unsur hara, bukan termasuk tanah yang subur dan tidak dimanfaatkan secara intensif seperti jenis tanah lainnya. Lahan mengalami kesulitan air di musim kemarau sehingga dibiarkan kosong untuk ditumbuhi rerumputan. Wilayah Kalipare (tanah Mediteran) terletak di lereng gunung Kendeng dengan areal pertanian yang tidak mampu dijangkau oleh pengairan sistem irigasi sehingga mengakibatkan pertanian lahan kering/ tadah hujan, tanahnya dengan komposisi liat tinggi dan sangat keras sehingga tidak banyak tanaman yang bisa tumbuh. Jenis tanah Entisol (Kecamatan Poncokusumo) termasuk tanah muda yang tanpa perkembangan profil. Entisol didominasi fraksi pasir dan pori total yang cukup besar sehingga kemampuan tanah memegang air sangat rendah. Fraksi pasir yang tinggi mencirikan tanah miskin bahan organik sehingga Kapasitas Tukar Kation sangat rendah yang menyebabkan pencucian unsur hara tinggi.

Setiap jenis tanah yang memiliki karakteristik sifat yang berbeda tentu akan berbeda dalam menanggapi suatu masukan bahan organik. Karena bahan baku dan kondisi produksi biochar dapat secara signifikan mempengaruhi kualitas biochar. Demikian pula jenis pupuk organik yang digunakan dapat mempengaruhi kualitas pupuk itu sendiri maupun pengaruhnya ketika diaplikasikan di dalam tanah yang memiliki sifat dan ciri yang berbeda.

Lahan kering menghadapi kendala internal di dalam tanah maupun lingkungan eksternal. Kendala internal berhubungan dengan bahan induk tanah sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi pembentukan dan perkembangan tanah, yang lebih lanjut akan mempengaruhi tingkat kesuburan tanah. Faktor eksternal seperti iklim yang menyebabkan produktivitas tanaman rendah karena keterbatasan air. Sistem pengelolaan lahan dengan masukan bahan organik dapat meningkatkan kemampuan tanah untuk memproduksi. Dalam jangka panjang diperlukan pengelolaan tanah di wilayah lahan kering khususnya di Kabupaten Malang supaya produktivitas tanah meningkat dan mengurangi keterbatasan lahan produktif.

Pengelolaan lahan kering dengan menggunakan bahan organik yang bersifat labil seperti pupuk organik berfungsi sebagai bahan sementasi yang meningkatkan agregasi tanah, sumber hara, dan menyediakan zat pengatur tumbuh tanaman yang memberikan keuntungan bagi pertumbuhan tanaman seperti vitamin, asam amino, auksin dan giberelin. Namun hingga kini dampak penggunaan pupuk organik secara berlanjut belum nampak. Karena bahan organik yang bersifat labil merupakan bahan organik yang mudah mengalami dekomposisi pada kondisi tropis. Tidak demikian dengan bahan organik yang bersifat stabil seperti biochar. Biochar adalah teknologi kuno yang muncul kembali dan dipandang sesuai untuk solusi pada kondisi perubahan iklim. Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik/ biomassa dengan bahan baku yang tersedia melimpah, mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Biochar memiliki dampak pada ketersediaan hara dalam tanah baik sebagai unsur hara dan retensi hara. Abu di biochar berisi hara tanaman, sebagian besar basis seperti Ca, Mg dan K tetapi juga P dan mikronutrien termasuk seng, mangan.

Pemberian biochar cukup satu kali aplikasi namun dapat memberi efek susulan dalam jangka panjang sehingga dapat mewujudkan pertanian berlanjut. Hasil penelitian Widowati (2012-2013) pada tanah Inceptisol menunjukkan bahwa aplikasi biochar yang hanya 1 kali dapat mempertahankan hasil jagung selama tiga musim tanam meskipun tanpa penambahan pupuk SP₃₆ dan KCl pada musim tanam kedua dan ketiga. Demikian pula hasil penelitian Widowati (2014-2015), penambahan biochar sebelum tanam pada Alfisol yang sedang mengalami degradasi telah menghasilkan jagung pipilan kering yang relatif tetap selama tiga musim tanam. Perubahan dari biomasa (karbon labil) menjadi biochar (karbon stabil) dapat mengurangi pelepasan CO₂, meningkatkan stok karbon di dalam tanah, resisten terhadap dekomposisi di dalam tanah sehingga dapat bertahan lama. Kondisi ini dapat mengawetkan karbon dan nitrogen organik sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi kebutuhan pupuk anorganik, mengurangi biaya produksi, meningkatkan keuntungan dan efisiensi usahatani.

Penelitian ini bermanfaat untuk memberi informasi tentang pengaruh jenis biomasa sebagai bahan baku yang mempengaruhi karakteristik biochar-pupuk organik dan dampaknya di dalam tanah dan tanaman dari agroekosistem lahan kering, waktu inkubasi terbaik dalam meningkatkan sifat-sifat tanah dari agroekosistem lahan kering, peningkatan kualitas bahan pembenah tanah dengan menggunakan karbon stabil dan labil untuk memaksimalkan dampaknya dalam mengelola lahan kering iklim kering.

1.2. Pentingnya Riset Yang Mendukung Capaian Renstra Penelitian PT

Renstra penelitian UNITRI diantaranya dengan bidang unggulan Ketahanan Pangan dan salah satu topik unggulannya adalah Pengembangan Teknologi Produksi Pangan Ramah Lingkungan. Penelitian yang akan dilakukan sangat mendukung tercapainya RENSTRA PENELITIAN PT, karena menawarkan sebuah pengembangan paket teknologi pengelolaan tanah dengan menggunakan biochar-pupuk organik sebagai salah satu alternatif untuk meningkatkan produktivitas lahan kering iklim kering. Biochar dan pupuk organik sebagai bahan pembenah tanah yang dapat menghemat pemakaian pupuk

anorganik sehingga berdampak pada kualitas pangan, kesehatan, dan ramah lingkungan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Bahan Baku Biomasa

Jenis bahan baku dan kondisi pirolisis mempengaruhi karakteristik fisiko-kimia biochar. Karena berbagai pilihan biomassa dan sistem pirolisis tersedia, maka variabilitas dalam biochar yang dapat diproduksi tinggi. Variabilitas ini memiliki implikasi pada kandungan dan ketersediaan hara biochar dan nutrisi untuk tanaman saat biochar diterapkan pada tanah (Downie *et al.*, 2009).

Biochar sangat bervariasi dalam komposisi nutrisi dan ketersediaannya tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis. Pemilihan bahan baku awal sangat mempengaruhi produk akhir. Memanfaatkan bahan baku seperti kotoran unggas akan menghasilkan biochar dengan peningkatan unsur hara yang tersedia. Perbandingan antara sampah unggas, sekam kacang dan serpihan pinus menunjukkan kecenderungan yang sama (Gaskin *et al.*, 2008) dibandingkan ketersediaan nutrisi antara biochar limbah kotoran sapi dan biosolid (Wang *et al.*, 2012). P tersedia meningkat dengan biochar kotoran sapi karena P lebih mudah larut daripada senyawa Ca dan Mg. Sebaliknya, peningkatan konsentrasi N dan P yang berasal dari biochar lumpur air limbah serta nutrisi mikro dan makro lainnya, juga menjadi alasan utama untuk penurunan unsur hara yang tersedia (Uchimiya *et al.*, 2012a). Ketersediaan P mungkin berbanding terbalik dengan suhu pirolisis (Zheng *et al.*, 2013). Namun, penelitian lain (Chan *et al.*, 2007, 2008; Gaskin *et al.*, 2008; Qayyum *et al.*, 2012) menunjukkan bahwa kedua bahan baku dan suhu pirolisis memiliki pengaruh pada unsur hara yang tersedia di biochar, dengan kandungan nutrisi umumnya meningkat dengan semakin meningkatnya suhu (Gaskin *et al.*, 2008).

Meskipun konsentrasi hara dalam bahan baku tidak dapat digunakan untuk memprediksi kuantitatif kandungan hara biochar dalam bentuk total atau tersedia, jenis bahan baku yang digunakan selama pirolisis memiliki pengaruh yang kuat pada karakteristik biochar (misalnya Gaskin *et al.*, 2008; Cantrell *et al.*, 2012; Kloss *et al.*, 2012; Spokas *et al.*, 2012a). Gaskin *et al.* (2008) menunjukkan bahwa jumlah N total dari bahan baku ke biochar berkisar antara

27,4-89,6% pada masing-masing biochar kotoran unggas dan chip pinus. Selanjutnya kisaran total P, K, Ca dan Mg bervariasi dari 60-100% dengan kisaran tersedia dari sekitar 10-80% tergantung pada sumber bahan baku (Gaskin *et al.*, 2008).

Pentingnya sumber bahan baku untuk menentukan unsur hara dalam biochar. Dalam karakter bio nabati, kandungan C rendah karena konsentrasi yang lebih tinggi dari mineral lainnya dalam bahan baku (misalnya, mineral silika Brewer *et al.*, 2012). Namun, biochar berbasis tanaman sering memiliki kandungan unsur hara yang relatif rendah (Cantrell *et al.*, 2012) dibandingkan dengan biochar berbasis kotoran hewan. Hal ini terutama berlaku untuk kandungan N total sebagai kandungan N awal bahan baku biasanya lebih rendah dari pupuk; konsentrasi N di biochar yang banyak seperti dalam pupuk disebabkan kandungan protein yang tinggi dalam bahan baku (Tsai *et al.*, 2012). Bersamaan dengan hal itu, biochar nabati cenderung bertindak sebagai sumber langsung dari unsur hara (Cantrell *et al.*, 2012). Di sisi lain, biochar pupuk kandang mungkin lebih cocok untuk memasok unsur hara setelah aplikasi ke dalam tanah.

Potensi untuk semua biochar yang bertindak sebagai kondisioner tanah (untuk meningkatkan C organik tanah dan kandungan bahan organik, atau untuk meningkatkan sifat fisik tanah seperti kapasitas memegang air). Namun, tidak semua biochar akan memasok unsur hara tanaman dalam jumlah yang relevan. Misalnya, biochar kayu lunak mengandung (rata-rata) 200 mg kg⁻¹ P tersedia. Mengingat analisis P tanah untuk jagung dengan irigasi di South Carolina (AS) memanfaatkan pertanian biochar dari air limbah sludge menunjukkan bahwa 67 kg P₂O₅ ha (Hossain *et al.*, 2011) dibandingkan dengan bahan baku biochar yang banyak digunakan lignoselulosa atau pupuk kandang, biochar berbasis alga cenderung C relatif lebih rendah, tapi sering N, P dan unsur hara lainnya tinggi (Bird *et al.*, 2011; Torri *et al.*, 2011). Oleh karena itu, tidak menganggap semua biochar mampu memasok unsur hara tersedia untuk tanaman awal (Graber *et al.*, 2012).

Sifat bahan baku. Komposisi dan ketersediaan hara biochar tergantung pada sifat bahan baku dan kondisi pirolisis di mana biochar diproduksi. Selain

biomassa tanaman, berbagai bahan organik termasuk limbah material seperti kotoran unggas dan lumpur limbah dapat dikonversi ke biochar menggunakan pirolisis. Pyrolysis adalah degradasi biomassa dengan panas dalam ketiadaan oksigen, yang menghasilkan produksi padat (biochar), produk cair dan gas (Demirbas dan Arin, 2002). Menurut Shafizadeh (1982), pirolisis selulosa pada $<300^{\circ}\text{C}$ melibatkan pengurangan berat molekul (dekarboksilasi), air, karbon dioksida (CO) dan carbon monoksida (CO), serta untuk biochar dapat memiliki hara yang sangat berbeda isi dan ketersediaan.

Untuk bahan baku yang sama, hasil biochar sangat tergantung pada kondisi di mana pirolisis dilakukan, yaitu suhu, kecepatan pemanasan, waktu pemanasan dan ukuran partikel (Shafizadeh, 1982; Williams dan Besler, 1996; Demirbas dan Arin, 2002; Uzun *et al.*, 2006; Tsai *et al.*, 2007). Sementara itu dilaporkan bahwa hasil biochar menurun dengan meningkatnya suhu. Perubahan yang kompleks dan berbagai biomasa selama pirolisis mempengaruhi baik komposisi dan struktur kimia biochar. Dengan implikasi pada kandungan hara dan khususnya ketersediaan hara bagi tanaman. Perubahan dalam komposisi biochar selama pirolisis bahan organik menggunakan teknik molekuler menunjukkan penurunan bertahap dalam jumlah OH dan CH₃ dan peningkatan C = C dengan meningkatnya suhu (150 – 550°C), perubahan dari struktur C alifatik ke aromatic. Rasio H/C dan O/C biochar menurun dengan meningkatnya suhu. Biochar mengandung materi abu yang dihasilkan pada suhu rendah dan juga memiliki konsentrasi yang jauh lebih besar daripada biochar pada suhu tinggi. Konversi C alifatik ke aromatik selama pirolisis menyebabkan penurunan tingkat mineralisasi C. Pengurangan mineralisasi C organik juga menunjukkan penurunan ketersediaan nutrisi dalam biochar yang terikat dalam struktur organik, seperti N, P dan S.

Porositas biochar secara signifikan meningkat antara 400-600°C dan dapat dikaitkan dengan kenaikan molekul air oleh dehydroxylasi bertindak sebagai pori dan aktivasi agen, sehingga menciptakan pori-pori yang sangat kecil (ukuran nanometer) di biochar (Bagreev *et al.*, 2001). Oleh karena itu, perbedaan dalam perubahan struktural sebagai fungsi suhu memiliki konsekuensi penting dalam hal luas permukaan dan karakteristik biochar yang diproduksi di bawah kondisi

yang berbeda. Perubahan ini, pada gilirannya, memiliki efek penting tidak langsung pada nilai hara biochar, misalnya, kemampuan retensi kation dan anion hara dari biochar tergantung pada kapasitas tukar kation dan kapasitas tukar anion.

Kapasitas tukar kation terbukti sangat rendah pada suhu rendah dan pirolisis meningkat secara signifikan pada suhu tinggi (Lehmann, 2007), yang perlu diuji lebih lanjut, biochar yang baru diproduksi telah terbukti kapasitas tukar kation rendah dibandingkan dengan bahan organik tanah (Cheng *et al.*, 2006, 2008, Lehmann, 2007). Di sisi lain, Kapasitas tukar anion baru diproduksi biochar signifikan pada pH rendah dan biochar memiliki titik tinggi muatan nol bersih (Cheng *et al.*, 2008).

Nitrogen. Lang *et al.* (2005) memantau perubahan kandungan C, H, O, S dan N dari berbagai bahan organik, yaitu empat biomassa kayu, empat biomassa herba dan dua batubara di bawah pirolisis pada 275-1100°C. Semua jenis biomassa kehilangan setidaknya setengah dari N sebagai volatil dengan 400°C. Selama pirolisis limbah lumpur, kandungan N total menurun dari 3,8% pada 400°C dengan 0,94% pada 950°C karena kehilangan bahan organik yang mudah menguap (Bagreev *et al.*, 2001). Demikian pula, Shinogi (2004) melaporkan reduksi N total di biochar dari lumpur limbah dari 5,0% pada 400°C menjadi 2,3% pada 800°C.

Studi dengan tanah pada 25°C dan kapasitas lapangan menunjukkan bahwa jumlah N mineral yang terdeteksi diabaikan bahkan setelah 56 hari (Pritchard, 2003). Hal ini menunjukkan bahwa N dalam lumpur limbah biochar adalah dalam bentuk yang sangat tahan terhadap dekomposisi dan mineralisasi.

Kation basa. Yu *et al.* (2005) mempelajari bentuk kimia dan pelepasan K dan Na selama pirolisis jerami padi antara 400°C dan 1373°C. Antara 473°C dan 673°C, sekitar setengah dari kandungan logam total (masing-masing 48% dan 55% untuk K dan Na) hilang oleh pengupuan, dan pada pemanasan lebih lanjut untuk 1373°C, kehilangan lebih lambat dan berjumlah ~ 70%. Sekitar 90% dari total K dalam jerami padi dalam bentuk yang larut dalam air dan karena itu tersedia bagi tanaman sebelum pirolisis: itu adalah bentuk K yang hilang ketika panas hingga 673°C. Dengan meningkatnya suhu (> 600°C), proporsi yang lebih

besar dari K yang tersisa ditemukan dalam bentuk diekstrak tukar dan asam. Wornat *et al.* (1995) menemukan bahwa biochar dari pinus dan rumput yang diproduksi pada 625°C mengandung 15-20% O, dan menggunakan energi dispersif X-ray spektroskopi (EDS), menyimpulkan bahwa K dan Ca juga tersebar dalam matriks biochar dan dapat terikat pada O di biochar sebagai ion phenoxides (yaitu K phenoxides atau sebagai diselingi K). Namun pemanasan lebih lanjut dengan suhu yang lebih tinggi menyebabkan kerugian lebih lanjut oleh penguapan, serta penggabungan K ke dalam struktur silikat, yang diharapkan akan jauh lebih mampu tersedia. Hasil ini didukung oleh temuan Shinogi (2004), yang melaporkan pengurangan K tersedia dari 14 sampai <1 persen selama pirolisis limbah lumpur, sedangkan konsentrasi K total dua kali lipat (0,51% pada 250°C menjadi 1,12% pada 600°C).

Sulphur. 50% dari total S dari delapan jenis biomassa hilang selama pirolisis di 500°C (Lang *et al.*, 2005). Knudsen *et al.* (2004) mempelajari transformasi S selama pirolisis khas jerami gandum. Sebelum pirolisis, S ditemukan diasosiasikan sebagai sulfat anorganik (40-50% dari total S) dan sebagian sebagai protein (50-60%). Hasil penelitian menunjukkan bahwa 35-50% dari total S dilepas ke fase gas selama pirolisis pada 400°C sebagai akibat dari dekomposisi termal organik S. Pada suhu yang lebih tinggi (500°C sampai 700°C), kandungan S biochar tidak berubah secara signifikan. Namun, bentuk S berubah di bawah sangat mengurangi kondisi-kondisi yang berlaku selama pirolisis, dengan hilangnya sulfat anorganik (menjadi 21,1% pada 500°C dan 3,1% pada 800°C) untuk konversi ke larut sulfida (misalnya CAS, K₂S) dalam matriks biocha. Bentuk-bentuk S diharapkan menjadi larut air dan secara biologi kurang tersedia.

Fosfor. Sedikit informasi yang tersedia tentang transformasi P selama pirolisis. Untuk limbah biochar lumpur, konsentrasi total P meningkat dengan meningkatnya suhu dari 5,6% pada 250°C menjadi 12,8% pada 800°C. Menurut Bridle dan Pritchard (2004), 100% pemulihan P diperoleh dalam biochar dihasilkan dari lumpur limbah pada 450°C, dibandingkan dengan 45% dari N, yang hilang selama prosedur yang sama. Namun, studi inkubasi di laboratorium menunjukkan bahwa ketersediaan P dalam biochar ini hanya 13% dari total P,

jauh lebih rendah daripada yang dari biosolid dan pellet biosolid kering (30-40) (Pritchard, 2003). Menurut Bridle dan Pritchard (2004), hampir setengah dari total P di biochar adalah dalam bentuk HCl-diekstrak (yaitu sebagai Ca-terikat anorganik P) dan karena itu kurang tersedia bagi tanaman. Demikian pula, hasil Shinogi (2004) menunjukkan bahwa P tersedia (diukur sebagai sitrat-P terekstrak) di biochar dari lumpur limbah menurun dengan meningkatnya suhu, dari 0,98% pada 250°C sampai 0,06% pada 800°C, meskipun peningkatan jumlah P.

2.2. Komposisi Biochar

Biochar yang dihasilkan dari biomassa, terutama terdiri dari C organik stabil dengan kandungan hara mikro dan makro yang berasal dari bahan baku awal. Biochar dapat meningkatkan fraksi C stabil dalam tanah. C di biochar dalam bentuk aromatik yang tahan terhadap dekomposisi ketika ditambahkan sebagai amandemen tanah (Amonette dan Joseph 2009), sehingga bermanfaat sebagai alat penyerapan C. Namun, komposisi biochar bervariasi menurut jenis bahan baku dan kondisi pirolisis (Downie 2009). Kandungan C sebenarnya dapat berkisar antara 172g kg⁻¹ dan 905g kg⁻¹. Kandungan nitrogen berkisar dari 1,8 kg⁻¹ untuk 56.4g kg⁻¹, jumlah P dari 2.7g kg⁻¹ dan 480g kg⁻¹, jumlah kalium (K) dari 1.0 g kg⁻¹ hingga 58 g kg⁻¹ (Chan *et al.*, 2007; Lehmann *et al.*, 2003, Lima dan Marshall., 2005). Biochar juga mengandung berbagai konsentrasi elemen lain seperti Oksigen (O), Hidrogen (H), N, Sulfur, P, kation basa, dan logam berat (Goldberg, 1985; Preston dan Schmidt 2006). Biochar yang baru diproduksi terdiri dari fase kristal dengan lapisan graphene dan fase amorf struktur aromatik (Lehmann *et al.*, 2005; Cohen-Ofri *et al.*, 2007). Permukaan luar mengandung berbagai kelompok fungsional O dan H dan lembaran graphene mungkin berisi kelompok O dan radikal bebas (Bourke *et al.*, 2007). Selain itu, biochar telah diproduksi dengan berbagai nilai pH antara 4 dan 12, tergantung pada bahan baku awal dan kondisi operasi (Lehmann, 2007). Umumnya, suhu pirolisis rendah (<400 °C) menghasilkan biochar asam, sementara meningkatnya suhu pirolisis menghasilkan biochar alkali. Setelah dimasukkan ke dalam tanah, terjadi oksidasi permukaan karena reaksi air, O₂ dan berbagai agen tanah (Cheng

et al., 2006; Lehmann., 2007). Kapasitas tukar kation (KTK) biochar segar biasanya sangat rendah, tetapi meningkat dengan waktu sebagai umur biochar dengan adanya O₂ dan air (Cheng *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2006; Liang *et al.*, 2006).

Ada peningkatan kekhawatiran terkait dengan kontaminan yang disimpan dalam biochar dan pencucian ke dalam tanah setelah ditambahkan sebagai amandemen, namun ini tergantung pada asal-usul bahan baku pirolisis dan proses konversi. Biochar dapat mengandung kontaminan seperti logam berat dan senyawa organik, tetapi umumnya terkait dengan limbah lumpur, atau bahan baku kayu (Lievens *et al.*, 2009) dan kemungkinan tidak akan menjadi masalah jika dihasilkan dari biomassa hutan. Kontaminan yang terkandung dalam bahan baku bisa mengalami perubahan selama proses pirolisis dan dihancurkan atau diubah menjadi senyawa jinak, sementara yang lain dapat disimpan dalam biochar dan berpotensi merugikan jika ditambahkan ke tanah. Selain itu, beberapa kontaminan (misal hydrocarbon polycyclic aromatic) dapat terbentuk selama pirolisis. Hydrocarbons polycyclic aromatic (PAH) dapat dibentuk dari setiap bahan baku karbon, tetapi konsentrasi tergantung bahan baku (Zhurinsh *et al.*, 2005). Dengan demikian, penting untuk memahami komposisi kimia dari bahan baku dan biochar untuk menghindari konsekuensi terhadap lingkungan yang potensial sebelum menambahkannya ke tanah.

Amendemen tanah dengan biochar dari berbagai bahan baku akan mengakibatkan efek pada sifat-sifat tanah dan efek berikutnya pada pertumbuhan tanaman yang berbeda. Suhu dan laju pemanasan proses pirolisis juga memiliki efek penting pada sifat fisik maupun kimia dari biochar yang dihasilkan (Amonette dan Joseph 2009; Downie *et al.*, 2009), yang akan berdampak pada sifat tanah (Gaskin *et al.*, 2008). Bahan baku seperti kotoran unggas dapat menyebabkan biochar dengan pH tinggi dan kandungan P, sementara lumpur limbah dapat menghasilkan biochar dengan N tinggi dan konsentrasi logam berat. Vegetasi segar, kayu atau kulit dapat membuat biochar dengan pH netral, dan konsentrasi hara yang mencerminkan konsentrasi bahan baku (Chan dan Xu 2009). Gaskin (2010) membandingkan biochar yang berasal dari kulit kacang atau serpihan kayu, dan menemukan biochar kulit kacang biochar memiliki konsentrasi

nutrisi yang lebih tinggi dan menaikkan pH dan konsentrasi kation dasar ketika ditambahkan ke tanah, sementara biochar serpihan kayu tidak banyak berpengaruh pada parameter ini. Dari data terbatas yang tersedia, tidak ada jenis biochar yang diaplikasi dengan kisaran optimum, yang berguna untuk meningkatkan produktivitas tanaman (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann *et al.*, 2002). Sangat mungkin bahwa aplikasi biochar tingkat optimum akan bervariasi dan perlu ditentukan untuk setiap jenis tanah dan spesies tumbuhan.

Porositas dan luas permukaan adalah karakteristik penting dari biochar. Pori-pori yang lebih besar di biochar adalah hasil dari struktur vaskular biomassa asli. Namun, pori nano kecil yang memberikan kontribusi besar ke daerah permukaan biochar itu, hasil dari kondisi suhu tinggi yang digunakan selama pirolisis (Brewer *et al.*, 2009). Biochar dapat memiliki berbagai macam bidang permukaan tergantung pada kondisi bahan baku dan pengolahan, tetapi biasanya biochar switchgrass berkisar $7\text{-}50\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ dan biochar pinus berkisar dari $<10\text{-}400\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ (Brown *et al.*, 2006; Brewer *et al.*, 2009). Luas permukaan tanah berkisar $0,01\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ untuk pasir kasar dan $750\text{ m}^2\text{ g}^{-1}$ untuk kaolinit tanah liat, yang berarti adalah mungkin mengaplikasikan biochar terutama di tanah berpasir untuk meningkatkan luas permukaan keseluruhan (Downie *et al.*, 2009). Pada pirolisis suhu lebih tinggi, struktur C alifatik diubah menjadi struktur C aromatik, sehingga lebih banyak pori mikro dan luas permukaan yang umumnya lebih besar di biochar yang dihasilkan (Hammes *et al.*, 2006; Brewer *et al.*, 2009). Sebaliknya, telah dilaporkan bahwa menurunnya luas permukaan dapat terjadi dengan pirolisis suhu tinggi dan tingkat pemanasan tinggi (Lua *et al.*, 2004). Lua *et al.*, (2004) menemukan bahwa ketika suhu pirolisis meningkat $500\text{-}800^\circ\text{C}$, dan dengan peningkatan waktu reaksi, luas permukaan menurun. Fenomena ini terjadi lebih sering dengan abu tinggi dan mungkin akibat dari penguapan parsial abu atau komponen biomassa lainnya membentuk apa disebut "meleleh menengah", yang menutup pori-pori dan mengurangi luas permukaan (Lua *et al.*, 2004).

Kandungan unsur hara total dari biochar rata-rata rendah dengan suhu pirolisis, jenis dan interaksi, selama rentang bahan baku biochar. Secara umum, meningkatnya suhu pirolisis meningkatkan konsentrasi unsur hara total. Peningkatan suhu pirolisis biasanya menyebabkan hilangnya sifat mudah terurai

seperti senyawa volatil dan elemen (misalnya, O, H, N, S) dan dengan demikian unsur hara lain yang terkonsentrasi di biochar, termasuk C, Ca, Mg dan K (Kim et al, 2012; Kinney et al, 2012). Bahkan, peningkatan konsentrasi unsur hara, seperti C, dengan meningkatnya suhu pirolisis sering dikaitkan dengan kerugian H dan O dari biochar (Antal dan Gronli.,2003). Selanjutnya, selama pirolisis terjadi serangkaian reaksi pembelahan dan polimerisasi yang mengakibatkan penciptaan struktur C tetap stabil (Spokas *et al.*, 2012a), yang secara langsung berkaitan dengan peningkatan konten biochar C. Untuk mendukung fakta-fakta ini, Bolan *et al.*, (2012) melakukan teknik C fraksionasi berurutan, mencatat bahwa mayoritas C biochar tetap dalam bentuk non labil (tidak tersedia untuk degradasi mikroba). Namun, ketersediaan C tergantung dengan suhu pirolisis yang lebih tinggi yang terkait dengan C non-labil yang lebih besar (Nelissen *et al.*, 2012).

Selain itu, suhu yang lebih besar bisa menimbulkan efek konsentrasi karena hilangnya unsur-unsur lain oleh penguapan. Sebagai contoh, tampak bahwa kadar N total mencapai tingkat maksimum antara 300 sampai 399°C dan menurun pada suhu yang lebih besar. Cantrell *et al.* (2012) mengamati respon yang sama di kotoran hewan. Koutcheiko *et al* (2007) menemukan respon yang sama, berpotensi hilangnya N yang mengandung rantai amino alifatik yang dilepaskan pada saat pemanasan yang lebih besar. Rugi konten P total dengan meningkatnya suhu pirolisis juga telah diamati. Knicker (2007) menunjukkan bahwa senyawa yang mengandung P dapat menguap dekat 760°C, yang menjelaskan penurunan kandungan P saat bahan baku dipirolisis pada temperatur yang lebih besar dari 800°C.

Pengaruh suhu pirolisis dari total kandungan unsur hara biochar berbeda tergantung pada panjang periode pirolisis. Lebih khusus, meningkatnya suhu selama pirolisis lambat akan cenderung terkonsentrasi dan dengan demikian meningkatkan kandungan unsur hara total (Gaskin *et al.*, 2008) dibandingkan dengan pirolisis cepat. Namun, telah menunjukkan bahwa, dibandingkan dengan pirolisis lambat, pirolisis cepat dapat mengakibatkan konversi lengkap dari C ke bentuk yang lebih stabil (Bruun *et al*, 2012a). Dengan demikian, adalah mungkin bahwa total C dalam biochar pirolisis akan cepat lebih mudah dimineralisasi.

Biochar mengandung sejumlah unsur anorganik, namun pasokan unsur

hara tersedia bisa sangat bervariasi (Lentz dan Ippolito, 2012; Liu *et al.*, 2012). Sebuah penelitian yang dilakukan pada tahun 2012, di mana keduanya dianalisa tersedia dan total unsur hara dilaporkan dan mendukung anggapan ini. Tidak ada hubungan antara P tersedia dan P total ($r^2 = 0,05$) di berbagai biochar yang dilaporkan. Sebaliknya, antara 55 dan 65% dari K, Mg dan Ca tersedia dari biochar dapat berhubungan dengan konsentrasi total. Hal ini segera jelas bahwa konsentrasi total elemental tidak bisa akurat untuk memprediksi kandungan unsur hara yang tersedia di biochar, ada faktor-faktor lain seperti kondisi pirolisis mempengaruhi unsur hara yang hilang, maupun yang dipertahankan.

Meskipun kadar N total dari biochar berkisar 0,09-3,3 persen, literatur telah melaporkan bahwa jumlah N tersedia sebagai nitrat (NO_3) diabaikan. Bahkan, persentase yang tersedia N dibandingkan dengan total dalam semua kasus adalah $<0,01$ persen. Rendah konsentrasi N diekstrak (sebagai NO_3 , NH_4 , NO_2) di biochar paling sering diamati (Belyaeva dan Haynes, 2012) dan dapat disebabkan kehilangan gas N selama pirolisis (Amonette dan Joseph, 2009). Pada suhu pirolisis $< 760^\circ\text{C}$ (Knicker, 2007), ketersediaan P kemungkinan dikendalikan oleh kation terkoordinasi (Al, Fe, Ca, Mg) dan tergantung pada bahan baku (T. Wang *et al.*, 2012). Dalam kasus biochar, kemungkinan P akan terkait dengan Ca dan Mg karena biochar pH tinggi, dengan beberapa senyawa ini dalam bentuk tersedia. P tersedia berkisar 0,4-34 persen dari total P di biochar. Kalium juga biasanya terkonsentrasi dalam biochar dan cenderung sangat tersedia. Cantrell *et al.* (2012) menunjukkan bahwa konsentrasi K total (dalam kombinasi dengan Na) adalah prediktor penting dari konduktivitas listrik biochar, atau jumlah garam yang ada. Hal ini menunjukkan bahwa bentuk K di biochar adalah larut dalam air. Ketersediaan kalium berkisar 3,5-100 persen dari total K.

2.3. Karakteristik Fisik Biochar

Menurut Adriana Downie, Alan Crosky, dan Paul Munro *et al.* (...), sifat fisik biochar fungsinya untuk manajemen lingkungan. Karakteristik fisik biochar baik secara langsung maupun tidak langsung berhubungan dengan cara di mana biochar mempengaruhi sistem tanah. Tanah memiliki sifat fisik yang berbeda tergantung pada sifat mineral dan bahan organik, jumlah relatif mineral dan bahan

organik dan cara di mana mineral dan bahan organik berhubungan (Brady dan Weil, 2008). Ketika biochar diterapkan dalam tanah, kontribusinya terhadap sifat fisik mungkin signifikan mempengaruhi kedalaman, tekstur, struktur, porositas dan konsistensi melalui perubahan luas permukaan, ukuran distribusi pori, distribusi ukuran partikel, kepadatan dan kemasaman. Efek biochar pada sifat fisik tanah memiliki dampak langsung terhadap pertumbuhan tanaman karena kedalaman penetrasi dan ketersediaan udara dan air dalam zona akar. Biochar secara langsung akan mempengaruhi respon tanah untuk air, agregasi, kinerja selama persiapan tanah, dinamika mengembang-menyusut, permeabilitas, serta kapasitasnya untuk mempertahankan kation dan responnya terhadap perubahan suhu lingkungan. Selain itu, secara tidak langsung, kesuburan tanah secara kimia dan biologi dapat dihasilkan dari sifat fisik, seperti presentase fisik untuk reaksi kimia dan penyediaan habitat pelindung untuk mikroba tanah (Brady dan Weil, 2008).

Asal struktur biochar. Karakteristik fisik biochar tidak hanya tergantung pada bahan organik mulai (biomassa), tetapi juga sistem karbonisasi atau pirolisis (termasuk pra dan pasca-penanganan biomassa dan biochar). Tingkat perubahan struktur asli biomassa melalui penataan ulang struktur mikro selama pemrosesan dan pembentukan retak. Biochar adalah istilah yang digunakan untuk merujuk pada karbon tinggi yang terbentuk sebagai hasil dari pyrolysis bahan organik, material dapat berasal dari beragam bahan biomassa. Struktur asli sebagian besar jenis bahan dicantumkan pada produk biochar (Laine *et al*, 1991; Wildman dan Derbyshire, 1991) dan, dengan demikian, memiliki pengaruh pada karakteristik akhir fisik dan struktural. Selama pyrolysis, massa hilang (sebagian besar dalam bentuk organik yang mudah menguap) dan jumlah proporsional penyusutan atau pengurangan volume yang terjadi. Oleh karena itu, selama konversi termal, kerangka mineral dan C dibentuk untuk mempertahankan porositas dan struktur dari bahan asli. Pori-pori berukuran besar berfungsi sebagai feeder untuk pori-pori lebih rendah (pori meso dan mikro) (Fukuyama *et al*, 2001; Martínez *et al*, 2006; Zabaniotou *et al*, 2008). Komposisi kimia dari bahan baku biomassa memiliki dampak langsung pada sifat fisik dari biochar yang dihasilkan. Pada suhu di atas 120°C, bahan organik mulai mengalami dekomposisi termal dan kehilangan

kelembaban. Hemiselulosa terdegradasi pada suhu 200-260°C, cellulose pada 240-350 °C, dan lignin pada 280-500 °C (Sjöström, 1993). Proporsi komponen anorganik (abu) juga memiliki implikasi untuk struktur fisik.

Karakteristik Struktural. Struktur biochar dapat mempengaruhi beberapa karakteristik kualitasnya. Porositas dan permukaan bidang biochar sangat penting dan memiliki peran besar dalam menentukan potensi penggunaan akhir. Struktur makro awal bahan baku adalah sama dengan yang ada pada yang dihasilkan biochar dan ini terutama terjadi untuk bahan tanaman yang tinggi selulosa (Sohi *et al.*, 2010). Pirolisis menghilangkan senyawa, macrostruktur dari biomassa sebagian besar dipertahankan dalam biochar itu. Namun, stres struktural menyebabkan retakan di strukture makro, dan keluarnya gas volatil yang menyebabkan pori-pori kecil dan terbuka di bahan (Downie *et al.*, 2009).

Luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara (Downie *et al.*, 2009; Sohi *et al.*, 2010). Bagreev *et al.* (2001) menggambarkan bahwa peningkatan porositas dan luas permukaan biochar terkait dengan suhu pirolisis. Boateng (2007) menemukan bahwa luas permukaan biochar dihasilkan dari switchgrass rendah; mulai 7,7-7,9 m² g⁻¹. Penelitian lain melaporkan hasil awal yang sama, tetapi kemudian menunjukkan bahwa luas permukaan biochar meningkat karena suhu pirolisis meningkat dari 400 sampai 950°C (masing-masing 41-99 m² g⁻¹) (Bagreev *et al.*, 2001). Keiluweit *et al.* (2010) menunjukkan kecenderungan umum dari luas permukaan meningkatnya biochar dengan meningkatnya pirolisis suhu. Keiluweit *et al.* (2010) juga menggambarkan bahwa porositas meningkat (dan maka luas permukaan) digabungkan dengan pengurangan karbon total dan zat terbang.

Sementara mekanisme kapasitas tanah memegang air meningkat dengan biochar adalah tidak dipahami dengan baik, hal ini juga diketahui bahwa luas permukaan partikel tanah sangat mempengaruhi memegang kapasitas memegang air; pasir memegang sedikit air dan tanah liat memegang banyak. Menambahkan biochar untuk tanah untuk meningkatkan luas permukaan dapat berdampak pada kapasitas memegang air. Meskipun umumnya biochar cenderung meningkatkan

kapasitas adsorpsi air dan tingkat infiltrasi beberapa tanah, beberapa peneliti telah melaporkan bahwa beberapa biochar diproduksi pada suhu rendah 400°C).

Kondisi pirolisis suhu rendah juga dapat menghasilkan biochar yang cocok untuk digunakan sebagai hidrofobik, yang dapat membatasi efektivitasnya untuk menyimpan air dan pengganti pupuk (Hari *et al.*, 2005). Sementara biochar yang dibuat pada suhu tinggi akan lebih baik/ cocok untuk kegiatan adsorpsi seperti mengurangi kontaminasi logam berat dalam tanah (Sohi *et al.*, 2010). Sebaliknya, Boateng (2007) menunjukkan bahwa biochar yang diproduksi pada 480°C memiliki adsorpsi karakteristik rendah tanpa aktivasi lebih lanjut. Selain itu, telah ditemukan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah yang rapuh dan rentan terhadap abrasi (Hari *et al.*, 2005). Oleh karena itu porositas dan luas permukaan biochar tidak dapat mempengaruhi kualitas produk dalam jangka panjang.

Luas permukaan tanah dan biochar. Karakteristik luas permukaan tanah sangat penting karena mempengaruhi semua fungsi untuk kesuburan, termasuk air, udara, siklus nutrisi dan aktivitas mikroba. Keterbatasan kapasitas tanah berpasir untuk menyimpan air dan nutrisi tanaman sebagian berhubungan dengan luas permukaan yang relatif kecil dari partikel tanah (Troeh dan Thompson, 2005). Pasir kasar memiliki permukaan spesifik yang sangat rendah sekitar $0.01\text{m}^2\text{g}^{-1}$, dan pasir halus sekitar $0.1\text{m}^2\text{g}^{-1}$ (Troeh dan Thompson, 2005). Lempung memiliki permukaan spesifik relatif besar dari $5\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ untuk kaolinit dan sekitar $750\text{ m}^2\text{g}^{-1}$ untuk montmorillonit. Tanah yang sebagian besar mengandung liat memiliki kapasitas menahan air tinggi tetapi aerasi yang cukup (Troeh dan Thompson, 2005). Kadar bahan organik tinggi telah dibuktikan untuk mengatasi masalah terlalu banyak air pada tanah liat, dan juga meningkatkan kadar air dalam tanah berpasir (Troeh dan Thompson, 2005). Ada indikasi yang sama biochar mengubah sifat fisik tanah, dalam hal ini memiliki banyak manfaat yang sama dengan amandemen organik lainnya (Chan *et al.*, 2007). Permukaan spesifik biochar yang umumnya lebih tinggi daripada pasir dan sebanding dengan atau lebih tinggi dari tanah liat, karena itu akan menyebabkan kenaikan bersih total permukaan spesifik tanah ketika ditambahkan sebagai amandemen.

Pengaruh biochar pada populasi mikroba dalam tanah. Biomassa mikroba

tanah umumnya meningkat dengan meningkatnya kandungan liat di bawah kondisi lapangan dan laboratorium (Amato dan Ladd, 1992, Juma, 1993; Müller dan Hoper, 2004). Respon ini umumnya dikaitkan dengan peningkatan permukaan (Juma, 1993). Luas permukaan yang lebih tinggi dari tanah bertekstur lebih halus dapat mengakibatkan peningkatan kadar air total dan perlindungan fisik membaik. Percobaan biochar telah dikaitkan dengan peningkatan struktur tanah atau aerasi tanah di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007).

Distribusi ukuran partikel. Ukuran partikel dari biochar yang dihasilkan dari pirolisis bahan organik sangat tergantung pada sifat dari bahan asli. Susut dan gesekan selama pirolisis serta ukuran partikel dari bahan baku bahan organik cenderung lebih besar daripada biochar yang dihasilkan. Dalam beberapa kasus, partikel dapat menggumpal, sehingga peningkatan ukuran partikel juga ditemukan (Cetin *et al.*, 2004). Tergantung pada intensitas mekanik dari teknologi pirolisis yang digunakan, tingkat gesekan dari partikel biomassa yang terjadi selama pemrosesan. Hal ini terutama berlaku dalam penanganan pasca-bahan sebagai biochar secara signifikan lebih gembur dibanding biomassa asli.

Biochar berasal dari serbuk gergaji dan serpihan kayu dengan pra perlakuan yang berbeda, menghasilkan ukuran partikel yang kontras. Proses pirolisis, melalui energi terus menerus lambat (tingkat pemanasan $5^{\circ}\text{C min}^{-1}$ hingga $10^{\circ}\text{C min}^{-1}$) mengakibatkan peningkatan proporsi partikel dalam distribusi ukuran yang lebih kecil untuk kedua bahan baku, yang diukur dengan pengayak kering. Hal ini juga dapat dilihat sebagai HTT pirolisis meningkat (450°C sampai 500°C sampai 700°C), ukuran partikel cenderung menurun. Hal ini dapat dijelaskan oleh penurunan kekuatan tarik materi seperti yang lebih lengkap bereaksi, sehingga kurang tahan terhadap gesekan selama pemrosesan.

Tergantung pada teknologi yang digunakan, bahan baku biomassa disusun dengan cara yang berbeda. Semakin cepat laju pemanasan, semakin kecil partikel bahan baku untuk memfasilitasi perpindahan panas dan massa dari reaksi pirolisis. Bahan baku pada pirolisis cepat adalah pra-diproses untuk debu halus atau bubuk, karena itu, biochar yang dihasilkan sangat halus. Teknologi pirolisis lambat terus menerus, yang terjadi pada tingkat pemanasan lebih lambat ($\sim 5^{\circ}\text{C min}^{-1}$ sampai $30^{\circ}\text{C min}^{-1}$), dapat menampung partikel yang lebih besar sampai

dalam dimensi beberapa sentimeter. Dalam sebuah studi pirolisis kelapa sawit, ditemukan bahwa hasil biochar yang dipengaruhi oleh ukuran partikel batu dan suhu pirolisis maksimum (Syamsuddin dan Williams, 1992). Waktu retensi lebih lama akan mengatasi pengaruh ukuran partikel yang lebih besar.

Peningkatan susut linier dari partikel yang dipirolisis dapat terjadi dalam hubungannya dengan hilangnya bahan volatile (Emmerich dan Luengo, 1996; Freitas *et al.*, 1997). Misalnya, karena suhu pirolisis meningkat dari 200°C sampai 1000°C, susut linier partikel ditunjukkan meningkat 0-20 persen untuk biochar gambut (Freitas *et al.*, 1997). Cetin *et al.* (2004) menunjukkan bahwa peningkatan tekanan pirolisis (dari atmosfer ke-5, 10 dan 20 bar) mengarah ke pembentukan partikel biochar besar.

Kepadatan Biochar. Dua jenis kepadatan biochar: kepadatan padat dan kepadatan massal/nyata. Kerapatan padat adalah densitas pada tingkat molekuler, terkait dengan tingkat dari struktur C. Densitas adalah bahan yang terdiri dari beberapa partikel dan termasuk porositas makro dalam setiap partikel dan rongga antar partikel. Seringkali, peningkatan kepadatan padat disertai dengan penurunan kepadatan massal sebagai porositas yang berkembang selama pirolisis. Hubungan antara dua jenis kepadatan ditunjukkan oleh Guo dan Lua (1998), yang melaporkan bahwa kepadatan massal meningkat dengan perkembangan porositas 8,3-24 persen pada suhu pirolisis hingga 800°C (Guo dan Lua, 1998). Namun, ketika temperature meningkat sampai 900°C, kepadatan massal biochar meningkat dan porositas menurun. Hubungan terbalik antara kerapatan padat dan massal juga ditunjukkan oleh Pastor-Villegas *et al.*, (2006) untuk biochar eucalyptus diproduksi dalam tungku kontinyu memiliki kedua nilai terendah kepadatan massal dan tertinggi nilai kerapatan padat.

Kepadatan maksimum C di biochar telah dilaporkan berada diantara 2.0 g cm⁻³ dan 2.1 g cm⁻³ berdasarkan pengukuran sinar-X (Emmett, 1948). Nilai-nilai tersebut hanya sedikit di bawah kepadatan grafit padat 2.25 g cm⁻³. Kepadatan paling kokoh biochar, bagaimanapun, adalah secara signifikan lebih rendah dari grafit karena porositas residu dan struktur turbostratik (Oberlin, 2002), dengan nilai-nilai khas sekitar 1,5 g cm⁻³ sampai 1.7g cm⁻³ (Jankowska *et al.*, 1991; Oberlin, 2002). Nilai yang lebih rendah seperti dari biochar kayu pinus yang

dikumpulkan dari situs kebakaran alami di 1.47 g cm^{-3} (Brown *et al.*, 2006). Biochar diaktifkan untuk menghasilkan porositas mikro untuk adsorpsi gas lebih padat dibandingkan jika biochar dioptimalkan untuk menghasilkan porositas meso dan makro untuk pemurnian cairan (Pan dan van Staden, 1998).

Kepadatan dari biochar tergantung pada sifat bahan awal dan proses pirolisis (Pandolfo *et al.*, 1994). Kepadatan biochar meningkat dengan meningkatnya proses suhu dan lama pemanasan. Jumlah yang lebih rendah dari volatil, yang memiliki berat molekul rendah dari fixed C, dan kandungan abu rendah menghasilkan kepadatan tinggi padat di biochar (Jankowska *et al.*, 1991). Namun, Brown *et al.* (2006) menunjukkan kepadatan yang independen laju pemanasan dan langsung tergantung kepadatan pada suhu akhir pirolisis.

Bulk density juga merupakan fitur fisik penting dari biochar. Villegas *et al.* (2006) menemukan bahwa kepadatan sebagian besar biochar terbuat dari berbagai jenis kayu olahan dalam berbagai jenis kiln tradisional berkisar antara $0,30 \text{ g cm}^{-3}$ sampai 0.43 g cm^{-3} . Nilai densitas diberikan dalam literatur untuk karbon aktif yang digunakan untuk rentang adsorpsi gas dari 0.40 g cm^{-3} sampai 0.50 g cm^{-3} , sedangkan untuk karbon aktif yang digunakan untuk decolourization, kisaran adalah 0.25 g cm^{-3} untuk tambahan $0,75 \text{ cm}^{-3}$ (Rodríguez-Reinoso, 1997). Byrne dan Nagle (1997) membentuk hubungan linier antara kepadatan sebagian besar kayu dan biochar terbuat dari bahan yang sama, yang mencakup berbagai spesies.

2.4. Nutrisi Biochar

Chan *et al.* (2009) melaporkan atribut positif dari biochar adalah unsur hara yang disediakan baik secara langsung dengan memberikan nutrisi untuk tanaman atau secara tidak langsung dengan meningkatkan kualitas tanah, dengan konsekuen dalam peningkatan efisiensi penggunaan pupuk. Sebagai ukuran langsung dari nilai hara biochar bukan kandungan hara total melainkan hara tersedia yang merupakan pertimbangan penting. Kandungan nutrisi total bukan merupakan indikator yang tepat dari ketersediaan nutrisi, hanya sebagian kecil dari kandungan total hara yang segera tersedia atau mudah dikonversi menjadi bentuk yang tersedia untuk penyerapan oleh tanaman (Keeney, 1982). Contoh dari unsur hara langsung dari biochar adalah kemampuannya untuk mempertahankan

nutrisi dalam tanah dan karena itu mengurangi pencucian hara sehingga terjadi peningkatan serapan hara. Menurut Glaser *et al.* (2001), salah satu alasan kemampuan tanah Terra Preta Amazon ditandai dengan tingginya kandungan biochar seperti karbon pyrogenic (C), menyebabkan kesuburan tanah yang tinggi (dibandingkan dengan tanah subur yang berdekatan) adalah kemampuannya untuk mempertahankan nutrisi. Contoh lain dari nilai hara tidak langsung biochar adalah perbaikan terhadap hambatan tanah dalam membatasi pertumbuhan dan produksi tanaman (misalnya penggunaan kapur untuk mengatasi keasaman tanah, dengan hasil peningkatan efisiensi penggunaan pupuk dan peningkatan produksi tanaman).

Kandungan hara dari biochar. Biochar yang diproduksi dari biomassa diharapkan mengandung karbon yang tinggi dan mengandung berbagai hara makro dan mikro. Komposisi biochar tergantung pada sifat dari bahan baku dan kondisi pirolisis. Tinjauan literatur telah mengungkapkan bahwa hanya sedikit sekali informasi yang tersedia mengenai sifat hara biochar. Sebagian besar penelitian tentang pirolisis biomassa telah difokuskan pada energi dan kualitas bahan bakar (Horne dan Williams, 1996; Tsai *et al.*, 2006) daripada biochar sebagai amandemen tanah. Selanjutnya, informasi tentang kandungan hara dan sifat biochar tidak selalu digunakan dalam penelitian agronomi dalam pelaporan hasil eksperimen, sehingga sulit untuk menilai nilai agro-ekonomi dari biochar. Keseluruhan komposisi elemental C, nitrogen (N), fosfor (P) dan kalium (K), P tersedia dan mineral N serta pH biochar seperti yang tercatat dalam literatur oleh berbagai penelitian.

Hal yang paling mencolok adalah variabilitas yang tinggi dari semua parameter, kecuali pH. Dalam kasus pH, data menunjukkan bahwa biochar digunakan sebagai amendemen tanah dalam penelitian sebelumnya biasanya alkali ($\text{pH} > 7,0$). Namun, biochar dapat diproduksi di hampir semua pH antara 4 dan 12 (Lehmann, 2007) dan dapat menurunkan ke nilai pH 2,5 setelah inkubasi jangka pendek empat bulan pada 70°C (Cheng *et al.*, 2006). Kandungan karbon berkisar antara 172 g kg^{-1} dan 905 g kg^{-1} (koefisien variasi, $\text{CV} = 106,5\%$). Rentang yang lebih besar dalam N total ($1,8\text{ g kg}^{-1}$ kg $56,4\text{ g kg}^{-1}$), jumlah P ($2,7\text{ g kg}^{-1}$ kg 480 g kg^{-1}) dan total K ($1,0\text{ g kg}^{-1}$ sampai 58 g kg^{-1}), semua dengan CV 100%.

Variabilitas dapat dikaitkan dengan bahan baku yang berbeda dan kondisi yang berbeda di mana berbagai biochar diproduksi. Pengaruh bahan baku sangat jelas dalam kandungan total P yang lebih tinggi ditemukan pada biochar yang diproduksi dari bahan baku yang berasal dari kotoran hewan (limbah lumpur dan broiler) dibandingkan dari tanaman (misalnya kayu). Demikian pula, N total dari limbah lumpur (64 g kg^{-1} ; Bridle dan Pritchard, 2004) jauh lebih tinggi daripada yang berasal dari nabati murni (misalnya limbah hijau) (1.7 g kg^{-1} ; Chan *et al.*, 2007b). Dibandingkan dengan bentuk organik lain yang biasa digunakan dalam pertanian, baik N total dan kandungan P biochar mencakup rentang yang lebih luas daripada yang dilaporkan untuk pupuk organik. Penting untuk dicatat bahwa jenis bahan baku yang sama dapat menghasilkan biochar sangat berbeda. Sebagai contoh, Chan *et al.* (2007b) melaporkan jumlah kandungan N 20 g kg^{-1} untuk biochar dihasilkan dari sampah unggas dibandingkan dengan 7.5 g kg^{-1} dan 6.0 g kg^{-1} untuk dua biochar yang terbuat dari sampah unggas yang berbeda dilaporkan oleh Lima dan Marshall (2005). Perbedaan yang besar seperti N total adalah kualitas sampah unggas yang berbeda atau dari kondisi pirolisis berbeda. Suhu yang lebih tinggi (700°C) digunakan oleh Lima dan Marshall (2005) dibandingkan dengan 450°C dilaporkan oleh Chan *et al.* (2007b). Informasi ini menunjukkan kondisi selama pirolisis menentukan sampai batas yang signifikan kandungan N melalui penurunan N lebih besar pada suhu pirolisis yang lebih tinggi.

Kandungan total unsur banyak, khususnya nutrisi organik yang terikat seperti N dan belerang (S) tidak selalu mencerminkan ketersediaan hara aktual untuk tanaman. Sangat sedikit data tentang kandungan hara yang tersedia dalam biochar yang ditemukan dalam literatur. Dari data terbatas yang tersedia, mineral N sangat rendah dan P tersedia sangat bervariasi. Meskipun N total tinggi 6,4%, biochar dihasilkan dari limbah lumpur ditemukan memiliki N mineral (amonium- N^+ nitrat-N) bahkan setelah 56 hari inkubasi (Bridle dan Pritchard, 2004). Demikian pula, mineral N ditemukan $<2 \text{ mg kg}^{-1}$ untuk limbah hijau dan arang kotoran unggas dengan N total masing-masing 1.7 mg kg^{-1} dan 20 mg kg^{-1} (lihat Tabel 5.1, Chan *et al.*, 2007b). Sebaliknya, K tersedia dalam biochar biasanya tinggi dan peningkatan penyerapan K sebagai hasil dari aplikasi biochar telah sering dilaporkan (Lehmann *et al.*, 2003b; Chan *et al.*, 2007c). Rasio C/N biochar

bervariasi antara 7-400, dengan rata-rata 67. Rasio ini sering digunakan sebagai indikator kemampuan substrat organik untuk mineralisasi dan pelepasan N anorganik ketika diaplikasikan ke tanah. Umumnya, rasio C/N organik substrat kurang dari 20 digunakan sebagai batas kritis atas imobilisasi N oleh mikroorganisme, terjadi karena N diaplikasikan dengan substrat tidak tersedia bagi tanaman (Leeper dan Uren, 1993). Sullivan dan Miller (2001) mengemukakan bahwa kompos dengan C/N rasio di atas 25-30 mengurangi N anorganik. Berdasarkan nilai-nilai ini, mengingat C/N rasio sangat tinggi, sebagian besar biochar menyebabkan imobilisasi N dan mungkin menginduksi kekurangan N dalam tanaman bila diterapkan pada tanah saja. Namun, ada ketidakpastian jika kriteria yang sama dapat langsung diterapkan untuk biochar. C/N rasio Terra Preta tanah biasanya lebih tinggi daripada Ferralsol yang berdekatan, tetapi cenderung memiliki N yang lebih baik (Lehmann et al., 2003a). Sebagian besar biochar terdiri dari C organik sangat recalcitrant, yang tidak mudah termineralisasi, imobilisasi N diabaikan meskipun C/N rasio tinggi. Penerapan biochar mungkin mengakibatkan penurunan serapan N, seperti yang ditunjukkan dalam beberapa penelitian (misalnya Lehmann *et al.*, 2003b, Rondon *et al.*, 2007). Ada kemungkinan karena sebagian kecil dari biochar baru diproduksi yang relatif mudah dimineralisasi, tetapi dapat menyebabkan immobilisasi N karena rasio C/N-nya tinggi. Namun, sebagian besar sisa C organik (dengan lebih tinggi C/N) tidak menyebabkan reaksi imobilisasi karena tingkat tinggi dari perlawanan biologis.

Dari 16 biochar yang dibuat dari biomassa tanaman yang berbeda serta limbah unggas, P tersedia diekstrak bikarbonat (Colwell, 1963) ditemukan berkisar antara 1-15 mg kg⁻¹ dan 11.600 mg kg⁻¹ (Chan *et al.*, 2007b). Tingkat P tersedia lebih tinggi ditemukan di biochar yang dihasilkan dari limbah unggas dibandingkan dari biomassa tanaman. Namun, kandungan logam berat yang tinggi telah dilaporkan pada biochar dihasilkan dari berbagai bahan (misalnya limbah lumpur dan limbah penyamakan kulit) (Muralidhara, 1982; Bridle dan Pritchard, 2004). Kekang dan Pritchard (2004) melaporkan konsentrasi tinggi dari tembaga (Cu), seng (Zn), kromium (Cr) dan nikel (Ni) dalam biochar dihasilkan dari limbah lumpur. Biochar dihasilkan dari limbah penyamakan kulit

bisa sangat tinggi dalam Cr (Muralidhara, 1982) sebagai logam ini dapat membuat 2 persen dari total berat kering limbah. Cr ditemukan untuk mengikat bahan organik di biochar dalam bentuk kompleks trivalen dan dapat dipulihkan oleh resapan dengan asam sulfat encer (Muralidhar, 1982). Sedikit yang diketahui tentang ketersediaan logam ini berpotensi beracun.

Beberapa dari biochar memiliki konsentrasi karbonat yang cukup tinggi (lihat Tabel 5.1), yang berharga sebagai bahan pengapuran untuk mengatasi keasaman tanah (Van Zweiten et al, 2007). Chan et al (2007b) melaporkan kandungan karbonat kurang dari 0,5-33% untuk berbagai biochar dihasilkan dari bahan baku dan kondisi yang berbeda. Tidak ada hubungan langsung antara nilai pengapuran dan pH biochar. Dari data yang ada, tidak ada tingkat optimum aplikasi biochar dapat diperoleh karena variabilitas besar dalam karakteristik biochar. Glaser et al (2002) dan FFTC (2007) menyimpulkan bahwa tingkat aplikasi optimal biochar harus ditentukan untuk setiap jenis tanah dan jenis tanaman.

Unsur hara yang tersedia. Dalam arti yang paling umum, unsur hara yang tersedia adalah sebagian dari unsur atau senyawa yang dapat diasimilasi oleh tanaman yang tumbuh. Di tanah, berbagai ekstraktan (air, 1M KCl, 0.5M K₂SO₄, NH₄OAc pada pH 7, Morgan, Mehlich-III, Mehlich-I, Bray, Olsen, DTPA, dll) telah digunakan untuk mengkorelasikan unsur hara yang diekstrak dengan serapan hara tanaman. Pendekatan ini telah digunakan untuk membedakan elemen yang mungkin tersedia dari biochar.

Meningkatnya suhu pirolisis menghasilkan hasil yang beragam dalam hal status unsur hara yang tersedia dalam biochar. Meningkatkan suhu pirolisis telah terbukti menyebabkan hasil panen yang optimal. Mengingat konsentrasi P di biochar kayu lunak, sekitar 145 Mg ha⁻¹ akan diperlukan untuk memasok P bagi kebutuhan tanaman. Sebagai perbandingan, biochar sampah yang berisi tujuh kali lebih banyak P tersedia, perlu diterapkan sekitar 20 mg ha⁻¹. Nilai ini mungkin masih dianggap tidak masuk akal untuk produksi pertanian. Perbandingan antara biochar hazelnut dan limbah pabrik kertas dalam hal penyediaan K tersedia. Rata-rata konsentrasi K tersedia K untuk biochar limbah hazelnut dan papermill masing-masing 890 dan 20,800 mg kg⁻¹. Mempertimbangkan media tanah irigasi

untuk nilai uji K jagung di South Carolina menyarankan bahwa 67 kg dari K_2O ha^{-1} akan diperlukan oleh tanaman.

pH dan pengapuran. Suhu pirolisis memiliki dampak pada pH biochar. Secara khusus, meningkatnya suhu pirolisis menghilangkan fungsi asam kelompok karboksilat dan kadar abu meningkat (Novak *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2002; Ahmad *et al.*, 2012; Cantrell *et al.*, 2012). Enders *et al.* (2012) menunjukkan bahwa suhu pirolisis meningkat dari 300 ke 600°C, pH meningkat pada kotoran sapi dan biochar berbasis biomassa kayu. Pada pirolisis suhu yang lebih besar, unsur hara dalam bentuk mineral atau garam (seperti KOH, NaOH, $MgCO_3$, $CaCO_3$, garam logam organik) terpisah dari matrik organik padat, sehingga nilai pH tinggi (Cao dan Harris, 2010; Knicker, 2007). Karena pH, biochar telah digunakan untuk memperbaiki kondisi tanah asam (Yuan dan Xu, 2011; Uchimiya *et al.*, 2012b), sehingga bisa berfungsi sebagai agen pengapuran (Kloss *et al.*, 2012). Efek pengapuran mungkin kuantitas produk lapang, biochar ini kalsium karbonat ekuivalen (CCE, nilai biochar telah terkait dengan kuantitas setara $CaCO_3$). Meningkatkan suhu pirolisis akan meningkatkan CCE biochar. Efek ini telah digambarkan oleh beberapa studi (Hass *et al.*, 2012; T. Wang *et al.*, 2012). Selain itu, mengaktivasi uap elevasi selama pirolisis dapat meningkatkan pH biochar serta kalsium karbonat setara (CCE) dibandingkan dengan karakter biochar non-aktif (Hass *et al.*, 2012).

Retensi hara. Biochar dapat mempertahankan unsur hara melalui beberapa mekanisme termasuk adsorpsi elektrostatis dan retensi unsur hara yang larut dalam air (yaitu, jebakan; Lehmann *et al.*, 2003). Lebih khusus, kemampuan beberapa biochar untuk mempertahankan unsur hara tersebut berkaitan dengan luas permukaan yang besar, kuantitas kelompok fungsional dan porositas yang besar. Luas permukaan dan porositas di biochar dapat sangat bervariasi tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis (Verheijen *et al.*, 2010). Jeong *et al.* (2012) menunjukkan bahwa biochar kayu (sebagian besar terdiri dari sweetgum dan ek chip) memiliki luas permukaan spesifik lebih besar dibandingkan dengan biochar kayu lunak (yang sebagian besar terdiri dari yellow chip rendah dan pinus), masing-masing 242 dibanding 159 $m^2 g^{-1}$. Namun ketika rata-rata data biochar di semua kayu dan kayu lunak diterbitkan pada tahun 2012, sedikit ada perbedaan

antara kedua data. Bahkan, sulit untuk menarik kesimpulan sehubungan dengan luas permukaan biochar berdasarkan hanya dari bahan baku. Dengan demikian, sulit untuk menarik kesimpulan dari retensi hara berdasarkan bahan baku.

Namun, luas permukaan spesifik cenderung meningkat dengan suhu pirolisis seperti yang digambarkan oleh berbagai penelitian (Ahmad et al, 2012; Lu et al, 2012; Cantrell et al, 2012; Chen et al, 2012; Hass et al, 2012; Shen et al, 2012) dan dapat menyebabkan penyimpanan unsur hara yang lebih besar. Peningkatan luas permukaan spesifik dengan suhu pirolisis yang paling sering dikaitkan dengan kedua perubahan fisik dan kimia dalam biochar tersebut. Misalnya, Ahmad et al (2012) menggunakan scanning mikroskop elektron untuk mempelajari perubahan struktural berikut pirolisis biochar brangkasan kedelai dan Peabody shell kacang. Diameter sel pori berkurang, pori-pori internal yang muncul dan selanjutnya meningkatkan luas permukaan. Selain itu, adalah mungkin bahwa pada pirolisis suhu rendah yang terjadi pori mikro; dengan demikian, menghasilkan area permukaan yang lebih rendah dibandingkan dengan biochar suhu yang lebih tinggi di mana penguapan menyebabkan peningkatan luas permukaan (Munoz et al, 2003; Kloss et al, 2012). Chen et al (2008) menunjukkan bahwa peningkatan suhu pirolisis menghilangkan H dan O yang mengandung gugus fungsional, sehingga menyebabkan bertambahnya area permukaan biochar. Chen et al (2012) menjelaskan bahwa peningkatan suhu pirolisis mengurai selulosa dan lignin, juga menyebabkan peningkatan luas permukaan. Dengan seiring bertambahnya luas permukaan spesifik (misalnya, Borchard et al, 2012b). Proses tersebut menyebabkan ukuran pori berkurang dan luas permukaan meningkat yang mungkin menyebabkan peningkatan retensi hara. Pirolisis cepat dibandingkan dengan pirolisis lambat, dalam hal luas permukaan biochar, satu hal yang mungkin menganggap bahwa biochar pirolisis cepat akan berisi luas permukaan yang lebih besar dan dengan demikian menunjukkan lebih besar retensi hara. Memerlukan awal ukuran bahan baku partikel yang lebih kecil untuk memperlambat pirolisis. Namun, hal ini tidak jelas bahwa awal ukuran partikel lebih kecil berpengaruh pada luas permukaan spesifik. Biochar pirolisis cepat memiliki area permukaan rendah ($< 8.0\text{m}^2 \text{g}^{-1}$; Boateng, 2007; Hilber et al, 2012)

dibandingkan dengan memperlambat pirolisis biochar. Hal ini kemungkinan disebabkan transformasi fisika-kimia lengkap selama pirolisis cepat.

Kapasitas tukar kation (KTK). KTK biochar dikembangkan jika produk terkena oksigen dan air, menciptakan kelompok permukaan fungsional (Briggs *et al.*, 2012; Chan dan Xu, 2009). Mirip dengan tanah, KTK biochar mewakili kemampuannya untuk penyerapan elektrostatis atau menarik kation. Meskipun biochar berbasis organik dan karena itu tergantung pH, KTK seperti bahan organik tanah. Bertambahnya suhu pirolisis cenderung menyebabkan penurunan KTK; Fenomena ini diamati oleh Lin *et al* (2012) dan Rajkovich *et al* (2012). Hal ini disebabkan penghilangan kelompok fungsional organik (yaitu, materi yang lebih mudah menguap) di suhu pirolisis yang lebih besar (Gaskin *et al*, 2008; Cantrell dan Martin, 2012; Kloss *et al*, 2012). Memang, peningkatan suhu pirolisis meningkatkan dekomposisi lignin dan selulosa dalam bahan baku (Novak *et al*, 2009) menyebabkan hilangnya kelompok fungsional. Dengan demikian, potensi terjadinya retensi hara awal akan lebih rendah bila biochar dibuat dan dibandingkan dengan suhu pirolisis rendah (Ippolito *et al*, 2012a). Namun, retensi hara juga mungkin merupakan fungsi dari oksidasi jangka pendek dan jangka panjang setelah biochar dimasukkan ke dalam lingkungan (Quilliam *et al*, 2012).

Penelitian khusus serapan unsur hara telah dilakukan pada Cu, NH₃ dan NH₄. Borchard *et al.* (2012a) menyarankan bahwa kelompok fungsional yang mengandung oksigen dalam biochar bertanggung jawab untuk keseluruhan penyerapan. Cu ditemukan berinteraksi dengan kimia biochar dan interaksi fisik (misalnya, jerapan) diabaikan. Tanggapan serupa telah diamati untuk Cr pada sabut kelapa biochar (Shen *et al*, 2012). Ippolito *et al.* (2012b) menunjukkan bahwa, sebagian Cu terikat dalam biochar melalui kelompok fungsional ligan organik, namun beberapa presipitasi karbonat / oksida tidak terjadi. Uchimiya *et al.* (2012b) menunjukkan penghilangan kelompok alifatik dan N-mengandung gugus fungsional hetero aromatik dengan suhu pirolisis tinggi, yang berkorelasi positif dengan retensi Cu di biochar berbasis kotoran. Penyerapan senyawa nitrogen dengan biochar juga telah disarankan (Dempster *et al.*, 2012a; Kammann *et al*, 2012; Sarkhot *et al.*, 2012). Ding *et al.*, (2010) dan Hina *et al.*, (2010)

mencatat bahwa penyerapan NH_4 ke biochar terjadi terutama melalui pertukaran ion, kekuatan coulomb, fiksasi serapan kimia amonia atau asosiasi dengan kelompok S-fungsional. Taghizadeh-Toosi *et al.* (2012) menunjukkan bahwa di samping karbon stabil, Unsur hara makro dan mikro adalah komponen paling utama dalam biochar (Lehmann *et al.*, 2011), meskipun, jumlah dan ketersediaan unsur hara bervariasi berdasarkan bahan baku dan kondisi pirolisis. Dengan memberikan tambahan unsur hara ke dalam tanah, dan akibatnya mempengaruhi serapan hara tanaman, aplikasi biochar dapat mengubah kemampuan kompetitif dari spesies tanaman tertentu. Secara khusus, spesies polong telah terbukti manfaat dari perubahan biochar (Rondon *et al.*, 2007). Misalnya, penambahan biochar, identik dengan yang digunakan dalam penelitian ini, ke padang rumput yang kaya spesies di Belanda menghasilkan hampir tiga kali lipat peningkatan dalam proporsi biomassa dari kacang-kacangan (semanggi terutama merah, *Trifolium pratense*) setelah satu musim tanam.

Beberapa mekanisme telah diusulkan untuk menjelaskan kemampuan kompetitif dari kacang-kacangan dengan biochar (Lehmann dan Rondon, 2006). Misalnya, imobilisasi N oleh komunitas mikroba telah ditemukan setelah penambahan arang ke Ferralsol (Lehmann *et al.*, 2003). Selain pengurangan N tersedia, biochar dimediasi peningkatan pH tanah (Jeffery *et al.*, 2011). Biochar sebagai amandemen tanah untuk perbaikan kesehatan tanah melalui fisik tanah yang berpotensi meningkatkan kesuburan kimia. Biochar terdiri dari struktur berpori, karbon aromatik stabil yang sangat tahan terhadap degradasi kimia dan mikroba (Glaser *et al.* 2001). Dengan demikian, mampu eksekusi karbon di tanah (Rondon *et al.* ,2005). Seperti amandemen biochar dapat mempengaruhi populasi mikroba tanah dan aktivitasnya, penerapan tingkat biochar dan karakteristik tanah itu sendiri perlu penelitian untuk memantau tanggapan di tanah dengan perlakuan biochar (Lehmann *et al.*, 2011). Sementara biochar memiliki rasio karbon dan nitrogen tinggi (C/N rasio), membuatnya menjadi rendah sumber unsur hara. Biochar memiliki luas permukaan yang tinggi yang dapat meningkatkan KTK, pH, retensi hara, dan kapasitas memegang air, terutama di tanah bertekstur berpasir (Lehmann *et al.*, 2006).

Kapasitas biochar untuk mengubah tanah akan tergantung pada jenis dan tingkat biochar dan dampaknya dalam skala waktu yang diberikan (Unger *et al.* 2011). Perubahan biochar dan luas permukaan yang tinggi sering berkorelasi dengan peningkatan KTK yang dapat meningkatkan ketersediaan dan penggunaan efisiensi unsur hara di beberapa tanah tergantung pada spesifikasi biochar. Dengan demikian, KTK tanah rendah seharusnya yang paling terkena dampak. Juga, biochar berpotensi dapat meningkatkan pH tanah, yang kemudian banyak berpengaruh pada transformasi hara dan kemampuannya untuk tanaman, khususnya di tanah asam (Fowles, 2007). Namun, pH tanah dapat meningkat atau menurun tergantung pada pH dan kandungan kapur dari biochar sendiri (Lehmann *et al.*, 2011). Secara umum, biochar dan amandemen organik lainnya yang ditambahkan ke tanah harus meningkatkan nutrisi tersedia bagi rizosfer tanaman (Steiner *et al.*, 2007). Biochar telah terbukti secara signifikan meningkatkan hasil panen dan mutu yang baik melalui peningkatan pasokan unsur hara (Steiner *et al.*, 2007, Unger *et al.*, 2011). Oleh karena itu, memahami interaksi antara tingkat biochar dan komunitas mikroba di dalamnya diperlukan untuk model yang lebih baik dari efek biochar dan implikasinya pada fungsi tanah. Hal ini juga diperlukan dalam berbagai jenis tanah sebagai hasil sebelumnya yang menyarankan tanah miskin adalah yang paling ditingkatkan dengan penambahan biochar (Atkinson *et al.*, 2010).

Pengaruh amandemen biochar terhadap produktivitas jagung sebelumnya telah terbukti meningkatkan produktivitas tanaman dengan meningkatkan sifat fisik dan biokimia tanah yang dibudidayakan (Asai *et al.*, 2009; Mayor *et al.*, 2010b.). Tanaman menanggapi perubahan biochar tergantung pada sifat kimia dan fisika dari biochar, kondisi iklim, kondisi tanah dan jenis tanaman (Zwieten *et al.*, 2010; Yamato *et al.*, 2006; Gaskin *et al.*, 2010; Haefele *et al.*, 2011). Asai *et al.* (2009) melaporkan penurunan hasil padi gogo (*Oryza sativa* L.) berikut penerapan amandemen biochar saja tanpa pemupukan N dalam tanah yang kekurangan N. Namun dalam Ultisol terdegradasi (asam, sangat lapuk dan tanah yang miskin hara) dari Kenya, Kimetu *et al.* (2008) melaporkan hasil jagung kumulatif untuk menggandakan setelah aplikasi biochar diulang tiga dari 7 t ha⁻¹ lebih dari 2 tahun. Namun, Mayor *et al.* (2010b) menunjukkan tidak ada perubahan dari produksi

jagung pada tahun pertama dan peningkatan yang signifikan dalam 3 tahun berikutnya yang asalnya dosis tunggal biochar kayu pada 20 t ha⁻¹ di sabana Kolombia Oxisol (mirip sifat kimia untuk Ultisol). Dalam penelitian ini, produksi jagung mengalami peningkatan sebesar 11,6% -18,2% dengan pemupukan N dan 7% -16% tanpa pemupukan N di bawah amandemen biochar masing-masing pada tingkat 20-40 t ha⁻¹. Peningkatan produksi jagung di tanah dengan perlakuan biochar dapat dikaitkan dengan ketersediaan hara (Chan *et al.*, 2007; 2008; Zhang *et al.*, 2010) dan untuk memperbaiki sifat fisik tanah ditunjukkan oleh penurunan berat volume tanah. Namun meningkatnya hasil sepertinya tidak sebanding dengan tingkat amandemen biochar untuk ketersediaan N bisa menurun di bawah aplikasi biochar tinggi (Lehmann *et al.*, 2003) sebagai C/N rasio 15 dibandingkan 13. Dalam studi sebelumnya, peningkatan efisiensi penggunaan N pada produktivitas beras dan agronomi lebih tinggi ditemukan di sebuah tanah sawah kaya karbon organik tanah berikut aplikasi biochar pada tingkat 10 t ha⁻¹ dan 40 t ha⁻¹ (Zhang *et al.*, 2010). Dalam penelitian ini dengan tanah berkapur yang miskin karbon organik tanah, efisiensi penggunaan N pada agronomi juga meningkat secara signifikan di bawah amandemen biochar. Tingginya kadar akumulasi karbon organik tanah karena amandemen biochar dapat meningkatkan efisiensi N dan meningkatkan produktivitas tanaman (Pan *et al.*, 2009).

Biochar adalah arang yang dibuat dengan tujuan untuk diaplikasikan pada tanah. Biochar sering diklaim memiliki beberapa manfaat potensial, termasuk penyerapan karbon (Laird, 2008; Zimmermann *et al.*, 2012); Generasi bioenergi (Laird, 2008; Lehmann, 2007); adsorpsi polutan organik dan anorganik (Hale *et al.*, 2011; Jiang *et al.*, 2012) serta meningkatkan kesuburan tanah (Jeffery *et al.*, 2011; Spokas *et al.*, 2012). Efek kesuburan tanah telah dijelaskan dalam hal penambahan unsur hara dengan biochar, juga oleh perubahan biochar secara fisik tanah, kimia atau sifat biologis (Kookana *et al.*, 2011 (Parvage *et al.*, 2013); Oguntunde *et al.*, 2008; Thies dan Rilling, 2009). Namun, mekanisme di balik pengaruh hasil yang diamati tetap tidak jelas. Hipotesis untuk efek ini termasuk peningkatan efisiensi pupuk penggunaan dengan mengurangi hilangnya nutrisi melalui pencucian (Blackwell *et al.*, 2010; Laird *et al.*, 2010) Atau peningkatan ketersediaan hara karena peningkatan aktivitas mikroba, seperti jamur mikoriza

arbuskula (AMF) (Warnock *et al.*, 2007). Beberapa penelitian juga menunjukkan bahwa selain biochar ke tanah dapat meningkatkan kesuburan tanah melalui peningkatan fiksasi nitrogen biologis Xavier tion (BNF) ketika kacang-kacangan yang hadir (Nishio, 1996; Rondon *et al.*, 2007). Namun, mekanisme di balik efek ini juga masih belum jelas. Fiksasi N biologis diperkirakan berkontribusi kira-kira $17,2 \times 10^7$ t nitrogen ke tanah secara global setiap tahun (Ishizuka, 1992). Tanaman polongan telah diperkirakan berkontribusi sekitar setengah dari simbiosis BNF global diperkirakan $21,5 \times 10^6$ t (Herridge *et al.*, 2008). Ini menunjukkan bahwa BNF adalah layanan ekosistem penting untuk pertanian global dan pemahaman seperti kemungkinan dampak dari aplikasi biochar pada layanan ini sangat penting.

Kapasitas pertukaran ion. Kapasitas retensi hara biochar (dan tanah) bergantung pada kapasitas pertukaran kation dan kapasitas pertukaran anion (Chan & Xu., 2009). Kation (bermuatan positif ion) dan anion (ion bermuatan negatif) tertarik dengan muatan berlawanan. Nutrisi tanaman seperti kalsium, kalium, fosfor, dan nitrogen ada di larutan tanah; terutama sebagai kation dan anion dalam beberapa kasus. Pada tanah, partikel kecil, seperti humus dan tanah liat, membawa muatan negatif dan karena itu menarik kation, sedangkan anion relatif bebas bergerak dalam larutan tanah dan keduanya bebas tersedia untuk diserap oleh tanaman dan untuk pencucian. Kapasitas tukar kation menentukan kemampuan tanah untuk menahan kation dan, sebagai aturan umum, semakin tinggi kapasitas pertukaran kation, tanah semakin subur.

Biochar memiliki kapasitas pertukaran anion yang cukup dan karena itu dapat menyerap anion nutrisi (seperti nitrat dan fosfat). Para peneliti telah menunjukkan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah memiliki kapasitas tukar kation tinggi, sementara yang dihasilkan pada suhu tinggi (lebih besar dari 600°C) telah membatasi atau tidak ada kapasitas tukar kation (Chan *et al.* 2007; Lehmann., 2007a; Navia & Crowley., 2010). Temuan ini akan menunjukkan bahwa biochar untuk modifikasi tanah seharusnya tidak diproduksi pada suhu tinggi. Selain itu, biochar baru diproduksi memiliki kapasitas tukar kation sedikit, sementara kapasitas tukar anion mereka adalah substansial.

Kapasitas pertukaran kation biochar tinggi memiliki kemampuan untuk menyerap

logam berat dan kontaminan organik seperti pestisida dan herbisida dari lingkungan (Navia & Crowley., 2010). Penambahan biochar untuk tanah pertanian sebagai sebuah amelioran tanah yang diperkirakan mempengaruhi efektivitas bahan kimia pertanian, seperti herbisida dan pestisida (Jones et al., 2011a; Kookana., 2010; Smernik., 2009). Efek ini perlu dipahami sebelum aplikasi luas dari biochar untuk tanah pertanian.

Kandungan hara biochar. Kondisi operasi pirolisis dan bahan baku biomassa mempengaruhi komposisi dan struktur biochar sehingga menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam kandungan hara. Selain itu, variasi dalam sifat fisiko-kimia biochar menyebabkan variabilitas dalam ketersediaan nutrisi dalam biochar setiap tanaman. Biochar berasal dari kotoran dan hewan-produk bahan baku relatif kaya nutrisi bila dibandingkan dengan yang berasal dari bahan tanaman dan terutama yang berasal dari kayu. Namun, biochar secara umum mungkin lebih penting digunakan untuk modifikasi tanah dan transformasi hara dan kurang begitu sebagai sumber utama nutrisi (DeLuca *et al.*, 2009).

Secara umum, kandungan hara biochar mencerminkan kandungan hara dari bahan baku. Biochar yang berasal dari kotoran atau tulang relatif tinggi akan nutrisi, terutama fosfor. Biochar yang diproduksi dari bahan tanaman, dari kayu umumnya memiliki tingkat hara yang rendah dan yang dihasilkan dari daun dan limbah pengolahan makanan memiliki tingkat hara yang lebih tinggi. Kondisi pirolisis juga mempengaruhi kandungan hara dan ketersediaan. Pirolisis suhu tinggi dapat menurunkan kandungan dan ketersediaan nitrogen. Jumlah kandungan nitrogen ditemukan menurun 3,8-1,6 persen ketika suhu pirolisis meningkat, masing-masing dari 400 sampai 800°C, (Bagreev *et al.*, 2001). Studi lain melaporkan efek yang sama pada kandungan nitrogen di kedua biochar kayu dan herba. Nitrogen secara bertahap dilepaskan dari sampel char, mulai dari 400°C dan terus berlanjut sampai ke 750°C, di mana waktu sedikit lebih dari setengah nitrogen awal (Lang et al 2005). Selain hilangnya sebagian nitrogen, penurunan juga ditemukan pada ketersediaan nitrogen yang tersisa untuk tanaman (Bagreev *et al.*, 2001). Penjelasan untuk ini mengusulkan bahwa sisa nitrogen yang dimasukkan ke dalam matrik karbon, membatasi ketersediaan nitrogen dalam biochar yang dihasilkan (Bagreev et al., 2001; Chan & Xu., 2009; Macias &

Arbestain., 2010).

pH. Biochar digunakan untuk memperbaiki tanah biasanya alkalin yang mungkin memiliki efek menaikkan pH tanah. Namun, tidak semua biochar adalah basa. pH biochar dapat berkisar dari 4 sampai 12 tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis (Bagreev *et al.*, 2001; Lehmann., 2007b). Selanjutnya, telah diamati bahwa meningkatkan suhu pirolisis dapat meningkatkan pH dari beberapa biochar. Telah ditemukan bahwa peningkatan suhu pirolisis dari 310 sampai 850°C, biochar dihasilkan dari ampas tebu.

2.5. Karakteristik Biologi Biochar

Thies and Rillig (2009) menyampaikan bahwa penelitian di Jepang dan di AS telah menunjukkan bahwa biochar merangsang aktivitas berbagai mikroorganisme tanah pertanian dan sangat mempengaruhi mikrobiologis dalam mengikat tanah (Ogawa *et al.*, 1983; Pietikäinen *et al.*, 2000). Kehadiran dan ukuran distribusi pori-pori di biochar menyediakan habitat yang cocok bagi banyak mikroorganisme dengan melindungi dari predator dan pengeringan dan menyediakan beragam (C), kebutuhan energi dan mineral (Saito dan Muramoto, 2002; Warnock *et al.*, 2007). Kepentingan menggunakan biochar untuk meningkatkan kesuburan tanah, banyak studi ilmiah yang dilakukan untuk lebih memahami bagaimana biochar mempengaruhi sifat fisik dan kimia tanah dan kesesuaian sebagai habitat mikroba. Karena organisme tanah menyediakan berbagai layanan ekosistem, memahami bagaimana menambahkan biochar ke tanah dapat mempengaruhi ekologi tanah yang sangat penting untuk kualitas tanah.

Diantara jasa ekosistem yang menyediakan mikroorganisme tanah dari bahan organik yang melapuk dan imobilisasi hara anorganik, penyaringan dan bioremediasi kontaminan tanah, penyakit tanaman dan menekan penyebab pelepasan gas rumah kaca, dan meningkatkan porositas tanah, agregasi dan infiltrasi air (Coleman, 1986; Thies dan Grossman, 2006; Paul, 2007). Ketika mereka berinteraksi dengan tanaman di rizosfer, bakteri, jamur, protozoa dan nematoda sangat mempengaruhi kemampuan tanaman untuk memperoleh unsur hara makro dan mikro. Hal ini dapat terjadi sebagai akibat langsung dari asosiasi

mutualistik antara akar tanaman dan mikroorganisme, seperti dengan mikoriza arbuskular (AM) jamur (*Glomeromycota*, Robson et al., 1994) atau fiksasi nitrogen (N₂) dari bakteri rhizobia, atau melalui trofik interaksi yang dihasilkan dari ekskresi nutrisi, seperti protozoa dan nematoda (Brussaard et al., 1990). Aktivitas mikroba sangat mempengaruhi fungsi tanah sehingga menghasilkan pertumbuhan tanaman. Sifat fisik dan lingkungan kimia biochar dapat mengubah dari kegiatan biologi. Sifat dan fungsi komunitas mikroba tanah berubah sebagai respon terhadap banyak faktor seperti iklim dan manajemen, terutama penambahan bahan organik (Thies dan Grossman, 2006). Biochar mempengaruhi biota tanah mungkin berbeda dari jenis lain dari bahan organik ditambahkan, karena stabilitas biochar membuat tidak mungkin menjadi sumber energi yang baik atau sel C setelah setiap awal bio-minyak atau kondensat telah terurai. Sebaliknya, perubahan fisik dan kimia biochar sampai lingkungan tanah yang pada gilirannya mempengaruhi karakteristik dan perilaku biota tanah.

Biochar sebagai habitat bagi mikroorganisme tanah. Struktur pori biochar, luas permukaan internal yang tinggi dan kemampuannya untuk menyerap bahan organik terlarut, gas dan nutrisi anorganik kemungkinan untuk menyediakan habitat yang sangat cocok bagi mikroba untuk menjelajah, tumbuh dan berkembang biak, terutama untuk bakteri, actinomycetes dan jamur mikoriza arbuskula. Beberapa anggota kelompok ini dapat menjelajah permukaan biochar tergantung pada sifat fisik dan kimia dari biochar yang berbeda. Ruang pori biomassa yang dipirolisis meningkat beberapa lipat selama pembakaran dan berhubungan dengan suhu pembakaran dan bahan baku. Perkiraan luas permukaan yang dihasilkan biochar berbeda berkisar dari 10 sampai beberapa ratus meter persegi per gram (m² g⁻¹), yang memberikan area permukaan meningkat secara signifikan untuk kolonisasi mikroba. Tergantung pada ukuran pori tertentu, mikroba yang berbeda akan atau tidak akan memiliki akses ke ruang internal. Beberapa penulis telah menyarankan bahwa pori-pori biochar dapat bertindak sebagai tempat berlindung atau mikrohabitat bagi mikroba kolonial, di mana mereka dilindungi dari predator alami (Saito dan Muramoto, 2002, Warnock *et al.*, 2007) atau di mana mikroba itu kurang kompetitif dalam lingkungan tanah yang menjadi nyaman (Ogawa, 1994). Variasi ukuran pori partikel biochar yang

berbeda dari bahan baku dan kondisi pirolisis seperti koloni mikroflora dan dilindungi, terutama dalam pori-pori yang lebih kecil. Porositas biochar tinggi juga dapat untuk mempertahankan kelembaban yang lebih. Pietikäinen et al. (2000) melaporkan bahwa dua biochar, dari humus dan dari kayu, kapasitas menahan air (WHC) lebih tinggi (2.9 mL g^{-1} bahan kering) dari karbon aktif (1.5 mL g^{-1} bahan kering) atau batu apung (1.0 mL g^{-1} bahan kering). Peningkatan kapasitas menahan air dari biochar dapat menyebabkan peningkatan secara keseluruhan dalam kapasitas menahan air dari tanah yang akan ditambahkan. Untuk biochar dengan kandungan mineral abu tinggi, porositas akan terus meningkat karena abu yang tercuci dari waktu ke waktu, dengan demikian, kapasitas biochar untuk mempertahankan air, menyediakan permukaan untuk mikroba untuk memperbanyak diri, dan untuk berbagai elemen dan senyawa untuk menjadi teradsorpsi juga cenderung meningkat dari waktu ke waktu. Pori-pori yang lebih kecil akan menarik dan mempertahankan air kapiler tanah lebih lama daripada pori-pori yang lebih besar (lebih besar dari $10 \mu\text{m}$ untuk $20 \mu\text{m}$) di kedua biochar dan tanah. Air adalah pelarut universal dan keberadaan biologis di pori biochar meningkatkan 'Huni' biochar substansial.

Embun, suhu dan konsentrasi ion hidrogen (pH) adalah faktor lingkungan yang paling kuat mempengaruhi kelimpahan bakteri, keragaman dan aktivitasnya (Wardle, 1998). Fierer dan Jackson (2006) menemukan bahwa keragaman komunitas bakteri tanah berbeda dengan tipe ekosistem, tetapi bahwa perbedaan terutama oleh pH tanah, dengan keragaman bakteri tertinggi di tanah netral dan terendah di tanah asam. Kegiatan populasi bakteri juga sangat dipengaruhi oleh pH. Dalam kondisi asam dan basa, protein menjadi terdenaturasi dan aktivitas enzim dihambat, merusak proses metabolisme. Biochar bervariasi dalam pH, tergantung pada bahan baku dan suhu pirolisis dan, dengan demikian, juga akan bervariasi dalam komunitas mikroba yang berkembang di sekitarnya. Di bawah pH ekstrem, jamur akan mendominasi karena memiliki berbagai toleransi pH, kebanyakan bakteri lebih memilih pH sekitar netral. Menambahkan biochar ke tanah, apakah asam atau alkali, dapat menyebabkan perubahan signifikan dalam komposisi komunitas tanah dengan mengubah rasio keseluruhan bakteri terhadap jamur, serta dominasi genera yang berbeda dalam populasi ini. Hal ini juga secara

signifikan dapat mengubah fungsi tanah dengan mempengaruhi aktivitas enzim dan, dengan demikian, aktivitas mikroba secara keseluruhan.

Biochar dapat meningkatkan habitat bagi mikroorganisme tanah dan akar tanaman (Atkinson *et al.*, 2010) sebagai aplikasinya juga dapat meningkatkan retensi kelembaban di tanah ringan dan filtrasi air dan drainase di tanah yang lebih berat. Dengan demikian, meningkatkan karakteristik fisika tanah dapat meningkatkan interaksi kimia yang mendukung aktivitas mikroba. Karena biochar adalah resistensi terhadap degradasi mikroba, perbaikan ini dapat bertahan untuk waktu yang lama. Banyak studi juga menunjukkan bahwa lebih baik memahami efek biochar di jenis tanah yang berbeda sehingga akan membantu dalam menggunakannya untuk manajemen yang lebih efektif dari sifat-sifat tanah yang berbeda dan mendapatkan manfaat yang maksimal dari penerapannya (Sohi *et al.*, 2010).

Biochar dapat mengubah proses biologis di tanah seperti mineralisasi N dan nitrifikasi dengan mempengaruhi komunitas bakteri yang terlibat dalam proses ini serta memberikan lingkungan yang sesuai untuk meningkatkan keseluruhan aktivitas mikroba (Berglund *et al.*, 2004). Telah didokumentasikan bahwa biochar meningkatkan persentase karbon organik dalam berbagai tanah tetapi sifat yang tepat dari komponen ini masih belum dipahami dengan baik (Zimmerman, 2010). Kolb *et al.* (2009) mempelajari pengaruh penambahan biochar pada biomassa dan aktivitas mikroba; biochar ditambahkan ke empat tanah yang berbeda: Mollisol, Alfisol, Entisol, dan Spodosol di lima tingkat aplikasi dari 0,1 kg/kg biochar-tanah. Hasil menunjukkan signifikan di kedua biomassa mikroba dan aktivitas dengan meningkatnya tingkat aplikasi. Penelitian ini juga menunjukkan pola yang sama dari dampak biochar pada biomassa mikroba, aktivitas mikroba, dan ketersediaan hara di keempat tanah tetapi respon mikroba adalah beragam, tergantung pada perbedaan kemampuan memanfaatkan hara di setiap tanah (Kolb *et al.* 2009). Juga, Butnan *et al.* (2015) menyelidiki penambahan biochar yang berasal dari dua jenis *eucalyptus* kayu pada empat tingkat (0, 1, 2, dan 4% b/b) yang ditambahkan ke Ultisol berpasir dan Oxisol liat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengapuran adalah aspek yang paling menguntungkan dari penambahan biochar di kedua tanah, terutama tanah berpasir Ultisol, yang

memiliki kesuburan rendah. Tingkat aplikasi biochar yang paling menguntungkan diamati antara 1 dan 2% b / b (Butnan *et al.*, 2015).

Biochar sebagai substrat untuk biota tanah. Bakteri dan jamur bergantung pada enzim ekstraseluler untuk mendegradasi substrat di lingkungan mereka menjadi molekul yang lebih kecil yang kemudian dapat diambil ke dalam sel dan digunakan untuk berbagai kegiatan metabolik (Thies dan Grossman, 2006; Paul, 2007). Permukaan menjadi sangat penting dalam hal ini, apakah permukaan agregat tanah, akar tanaman, partikel tanah liat, bahan organik tanah atau biochar. Aktivitas enzim ekstraseluler akan tergantung pada lokasi molekul pada protein yang berinteraksi dengan permukaan biochar. Jika bagian aktif enzim terkena fungsional dan bebas untuk berinteraksi dengan lingkungan, maka peningkatan aktivitas dapat terjadi. Namun, jika bagian aktif lemah maka dapat mengakibatkan aktivitas berkurang. Karbon organik tanah memainkan peran penting dalam siklus hara dan meningkatkan cadangan air tersedia bagi tanaman, kapasitas buffer tanah dan struktur tanah (Horwath, 2007). Peneliti menggunakan biochar sebagai zat relatif inert yang diubah sangat sedikit oleh kimia atau proses biokimia dari waktu ke waktu (Nichols *et al.*, 2000). Namun, sifat permukaan biochar melakukan perubahan dengan waktu dan secara perlahan termineralisasi selama jangka waktu yang lama. Meskipun biochar tidak sepenuhnya lembam, laju dekomposisi jauh lebih lambat daripada bahan organik yang tidak diarsir. Oleh karena itu, partikel biochar sendiri tidak bertindak sebagai substrat yang signifikan untuk metabolisme mikroba. Sebaliknya, sisa bio-minyak pada partikel dan kisaran senyawa teradsorpsi ke permukaan biochar tampaknya menjadi satu-satunya substrat yang tersedia dalam jangka pendek untuk mendukung pertumbuhan mikroba dan metabolisme.

Populasi mikroba tanah dapat dipengaruhi oleh kualitas dan kuantitas biochar yang ditambahkan ke tanah. Kualitas biochar sangat tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis. Flash carbonizing (McClellan *et al.*, 2007) dan beberapa kondisi pirolisis suhu rendah meninggalkan residu bio-minyak dan turunan lainnya pada permukaan biochar (Steiner *et al.*, 2008). Tergantung pada komposisi senyawa sisa pirolisis, mereka dapat berfungsi sebagai substrat pertumbuhan mikroba dan metabolit-LISM, seperti yang diusulkan oleh Ogawa

(1994) dan Steiner *et al.*, (2008), tetapi mereka juga dapat menjadi racun bagi tanaman seperti ditunjukkan oleh McClellan *et al.*, (2007), dan mungkin untuk beberapa mikroba.

Bio-minyak, Abu, asam pyroligneous (HK) (Steiner *et al.*, 2008) dan materi (VM) (McClellan *et al.*, 2007) volatile, antara lain, adalah istilah yang diberikan oleh berbagai peneliti untuk berbagai residu yang tersisa di permukaan biochar segera setelah pirolisis. Permukaan mengikuti kondensat pirolisis dapat mencakup senyawa yang larut dalam air seperti asam, alkohol, aldehida, keton dan gula yang mudah dimetabolisme oleh mikroba tanah. Namun, tergantung pada bahan baku dan kondisi pirolisis, mereka mungkin juga mengandung senyawa seperti hidrokarbon aromatik polisiklik, Kresol, xylenols, formaldehida hyde, akrolein dan senyawa karbonil beracun lainnya yang dapat memiliki aktivitas bakterisida atau fungisida (Painter, 2001). Ogawa (1994) dan Zackrisson *et al.*, (1996) telah menunjukkan bahwa zat ini dapat menjadi C dan sumber energi bagi mikroba yang dipilih. Waktu pergantian substrat ini cenderung berada di urutan satu sampai dua musim dan, dengan demikian, tidak akan menentukan komposisi komunitas untuk waktu yang lama.

Smith *et al.* (1992) menunjukkan bahwa kemampuan dalam dinamika adsorpsi nutrisi dan C yang mengandung substrat oleh biochar mungkin mengubah interaksi kompetitif antara mikroba dan perubahan struktur komunitas secara keseluruhan dan dinamika. Pietikäinen *et al.* (2000) mengeksplorasi kemampuan biochar terbuat dari *Empetrum nigrum*, biochar terbuat dari humus, karbon aktif dan batu apung untuk menyerap karbon organik terlarut dan mendukung populasi mikroba. Jenis dan ketersediaan substrat yang terkait dengan adsorben yang berbeda menyebabkan kolonisasi oleh komunitas mikroba yang berbeda. Perbedaan dalam komunitas permukaan mungkin, pada gilirannya, menghasilkan perubahan dalam tersedianya nutrisi untuk tanaman dan siklus nutrisi, secara umum, di tanah yang ditambahkan adsorben.

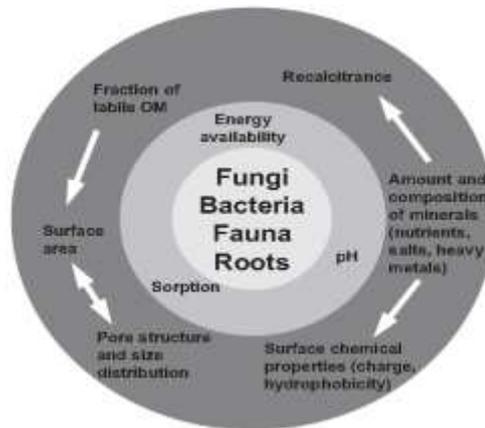
Efek Biochar pada aktivitas biologi tanah. Tanah dapat dipandang sebagai komunitas organisme yang kompleks yang terus berubah sebagai respon terhadap karakteristik tanah, faktor iklim dan manajemen, terutama penambahan bahan organik (Thies & Rillig 2009). Namun, penambahan biochar ke tanah cenderung

memiliki efek yang berbeda pada biota tanah (semua organisme hidup dalam tanah) dibandingkan dengan penambahan segar bahan organik (biomassa). Perbedaan muncul karena relatif stabilnya biochar dan kurangnya energi dan karbon biologis yang bisa digunakan dibandingkan dengan bahan organik segar. Namun demikian, penambahan biochar ke tanah mempengaruhi kelimpahan, aktivitas dan keragaman komunitas biotik tanah. Selain biochar dapat merangsang aktivitas mikroorganisme dalam tanah, berpotensi mempengaruhi sifat mikrobiologi tanah (Hammes dan Schmidt, 2009). Daripada memasok mikroorganisme dengan sumber utama nutrisi, pemikiran biochar untuk meningkatkan lingkungan fisik dan kimia dalam tanah, memberikan mikroba dengan habitat yang lebih menguntungkan (Krull *et al.*, 2010). Biochar, karena sifat berpori, area permukaan yang tinggi dan kemampuannya untuk mengadsorpsi materi organik larut dan nutrisi anorganik, menyediakan habitat yang sangat cocok untuk mikroba. Hal ini berlaku untuk bakteri, jamur mikoriza arbuskula actinomycete dan dari beberapa jenis yang mungkin istimewa menjelajah biochar tergantung pada sifat fisio-kimia properti. Pori-pori biochar dapat bertindak sebagai tempat perlindungan untuk beberapa mikroba, melindungi mereka dari kompetisi dan predasi.

Kelimpahan mikroba, keanekaragaman dan aktivitas sangat dipengaruhi oleh pH. Kapasitas penyangga (yaitu, kemampuan larutan tanah untuk menahan perubahan pH) yang diberikan oleh biochar dan kapasitas tukar kation dapat membantu menjaga kondisi pH yang tepat dan meminimalkan fluktuasi pH dalam habitat mikro di dalam partikel biochar.

Biochar relatif stabil dan memiliki waktu tinggal tanah yang lama, yang menunjukkan bahwa biochar bukan substrat yang baik (makanan) bagi biota tanah. Namun, biochar baru yang ditambahkan ke tanah dapat mengandung substrat yang cocok untuk mendukung pertumbuhan mikroba. Tergantung pada jenis bahan baku dan kondisi produksi, beberapa biochar mungkin berisi minyak organik atau senyawa organik recondensed yang dapat mendukung pertumbuhan dan reproduksi kelompok mikroba tertentu. Implikasi dari ini adalah bahwa komunitas mikroba dalam biochar akan berubah dari waktu setelah telah ditambahkan ke tanah. Selain itu, mungkin ada perubahan seiring dalam kisaran peran ekologi dan

layanan yang diberikan oleh komunitas yang berurutan. Ini mungkin menjadi jasa ekosistem yang bermanfaat untuk pertanian, seperti siklus hara atau mineralisasi bahan organik, mengembangkan dari waktu ke waktu.



Gambar 1. Diagram menunjukkan hubungan antara sifat biochar (lingkaran luar), tanah (lingkaran menengah) dan sebuah biota tanah (lingkaran dalam) (Dari Lehman *et al.*, 2011)

2.6. Impact Biochar Dalam Tanah

Biochar memiliki potensi besar untuk perbaikan tanah karena fisik, kimia, dan biologi yang unik dan interaksinya dengan tanah dan tanaman. Jika digunakan sebagai amandemen tanah, biochar dapat mengurangi dampak negatif yang mungkin timbul. Sementara penambahan biochar sebagian besar telah menunjukkan pengaruh yang netral, positif, atau negatif (ditinjau oleh Sohi *et al.*, 2010). Ini menunjukkan perlunya pemahaman yang komprehensif asal biochar, produksi, dan sifat fungsional.

Manfaat dari sifat fisik biochar timbul pada tanah. Sifat biochar yang sangat berpori hasil dari mempertahankan struktur dinding sel dari bahan baku biomassa. Berbagai macam ukuran pori biochar dalam area permukaan besar dan bobot isi rendah. Biochar dapat mengubah sifat fisik tanah seperti struktur, distribusi ukuran pori dan kepadatan, dengan implikasi untuk aerasi tanah, kapasitas memegang air, pertumbuhan tanaman, dan pengolahan tanah (Downie *et al.* 2009). Bukti menunjukkan bahwa aplikasi biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan luas permukaan tanah secara keseluruhan (Chan *et al.*, 2007) dan akibatnya, dapat meningkatkan air tanah dan retensi hara (Downie *et al.*, 2009) dan aerasi tanah terutama di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007). Biochar

memiliki bulk density jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis ($\sim 0,3 \text{ Mg m}^{-3}$ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah dari $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi total keseluruhan bulk density tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman (Brady dan Weil 2004).

Peningkatan luas permukaan, porositas, dan bobot isi rendah dalam tanah mineral dengan biochar dapat mengubah retensi air, agregasi, dan penurunan erosi tanah (Piccolo dan Mbagwu 1990, Piccolo *et al.*, 1996; Mbagwu dan Piccolo, 1997). Retensi air tanah ditentukan oleh distribusi dan konektivitas dari pori-pori dalam matriks tanah, yang sebagian besar dipengaruhi oleh tekstur tanah, agregasi, dan kandungan bahan organik tanah (Brady dan Weil, 2004). Biochar memiliki luas permukaan yang lebih tinggi dan porositas lebih besar relatif terhadap jenis lain bahan organik tanah, dan karena itu dapat memperbaiki tekstur tanah dan agregasi, yang meningkatkan retensi air dalam tanah. Ini mulai sifat fisik biochar terjadi pada berbagai skala dan mempengaruhi proporsi air daripada yang dapat dipertahankan. Kishimoto dan Sugiura (1985) memperkirakan luas permukaan bagian dalam dari charcoal terbentuk antara 400 dan 1000°C berkisar $200\text{-}400 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Van Zwieten *et al.* (2009) melaporkan luas permukaan biochar yang berasal dari limbah pabrik kertas dengan pirolisis lambat menjadi $115 \text{ m}^2 \text{ g}^{-1}$. Sifat ini dapat saja berubah dari waktu ke waktu dengan pelapukan fisik, tetapi belum secara eksplisit meneliti sehingga mengakibatkan ketidakpastian yang terkait perubahan fisik yang bermanfaat dalam tanah.

Peningkatan retensi kelembaban akibat tidak langsung dari perubahan dalam agregasi dan struktur tanah setelah aplikasi biochar (Brodowski *et al.*, 2006). Biochar dapat mempengaruhi agregasi tanah melalui interaksi dengan karbon organik tanah, mineral, dan mikroorganisme, namun karakteristik muatan permukaan dan perkembangan dari waktu ke waktu menentukan agregasi tanah pada efek jangka panjang. Glaser *et al.* (2002) melaporkan bahwa Anthrosol yang diperkaya dengan arang memiliki area permukaan tiga kali lebih tinggi dibandingkan Oxisol, dan memiliki peningkatan kapasitas lapang 18%. Tryon (1948) mempelajari efek dari arang pada persentase kelembaban yang tersedia di

tanah tekstur yang berbeda dan menemukan respon yang berbeda diantara tanah. Pada tanah berpasir, penambahan arang meningkat kelembaban yang tersedia sebesar 18% setelah menambahkan 45% biochar (volume), sementara tidak ada perubahan yang diamati dalam tanah liat, dan kelembaban tersedia tanah menurun di tanah liat. Luas permukaan tinggi biochar dapat menyebabkan retensi air meningkat, meskipun efek tampaknya tergantung pada tekstur tanah awal. Peningkatan daya ikat air dengan penambahan biochar ini paling sering diamati pada tanah berpasir (Gaskin *et al.*, 2007; Glaser *et al.*, 2002). Dampak dari penambahan biochar pada kadar air mungkin karena peningkatan luas permukaan relatif dengan yang ditemukan dalam tanah bertekstur kasar (Glaser *et al.*, 2002). Oleh karena itu, perbaikan dalam retensi air tanah dengan penambahan biochar hanya dapat diharapkan dalam tanah bertekstur kasar atau tanah dengan pori-pori makro dalam jumlah besar. Selain itu, sejumlah besar biochar perlu diaplikasikan ke tanah sebelum meningkatkan retensi air. Biochar memiliki potensi untuk meningkatkan ketersediaan hara bagi tanaman (Lehmann *et al.*, 2003). Ketersediaan hara dapat dipengaruhi oleh peningkatan kapasitas tukar kation, perubahan pH tanah, ataupun langsung kontribusi nutrisi dari biochar. Salah satu mekanisme potensial untuk peningkatan retensi hara dan pasokan hara setelah amandemen biochar. KTK meningkat hingga 50% dibandingkan dengan tanah yang tidak diamendemen (Lehmann, 2003; Liang, 2006; Tryon 1948, Mbagwu dan Piccolo 1997). Biochar memiliki kemampuan yang lebih besar untuk menyerap dan mempertahankan kation dalam bentuk tukar daripada bentuk-bentuk lain dari bahan organik tanah karena luas permukaan yang lebih besar, serta muatan negatif permukaan (Liang *et al.*, 2006). Penelitian telah menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam ketersediaan semua kation utama (Glaser *et al.*, 2002; Topoliantz *et al.*, 2005; Lehmann, 2003). Tryon (1948) menemukan peningkatan jumlah kation basis di tanah liat berpasir dan setelah menambahkan 45% arang kayu konifer. Selain itu, biochar yang baru diproduksi memiliki kapasitas pertukaran anion. Cheng *et al.* (2008) menemukan biochar menunjukkan kapasitas pertukaran anion pada pH 3,5 yang turun menjadi nol dari waktu ke waktu karena umur dalam tanah.

Biochar memiliki afinitas penyerapan tinggi untuk berbagai senyawa

organik dan anorganik dan kemampuan retensi hara tinggi dibandingkan dengan bentuk lain dari bahan organik tanah (Bucheli dan Gustafsson 2000, 2003; Allen-King *et al.*, 2002; Kleineidam *et al.*, 2002; Nguyen *et al.*, 2004). Setelah ditambahkan ke dalam tanah, oksidasi permukaan abiotik dan biotik biochar yang akan meningkatkan gugus karboksil permukaan, muatan negatif yang lebih besar, dan kemudian meningkatkan kemampuan untuk menyerap kation (Cheng *et al.*, 2008; Cheng *et al.*, 2006). Hal ini juga menunjukkan kemampuan untuk penyerapan senyawa polar termasuk banyak kontaminan lingkungan (Yu *et al.*, 2006). Kapasitas tukar kation biochar sangat bervariasi tergantung pada kondisi pirolisis di mana ia diproduksi. Kapasitas tukar kation lebih rendah pada suhu pirolisis rendah dan secara signifikan meningkat ketika diproduksi pada suhu tinggi (Lehmann, 2007). Biochar baru diproduksi memiliki sedikit kemampuan untuk mempertahankan kation sehingga KTK minimal (Cheng *et al.*, 2006, 2008; Lehmann, 2007), tetapi meningkat dengan waktu dalam tanah dengan oksidasi permukaan (Cheng *et al.* 2006.). Ini mendukung temuan KTK tinggi diamati pada Anthrosol Amazon (Liang *et al.*, 2006).

Biochar dapat berfungsi sebagai agen pengapuran sehingga pH meningkat dan ketersediaan nutrisi untuk sejumlah jenis tanah yang berbeda (Glaser *et al.*, 2002; Lehmann dan Rondon 2006). Konsentrasi karbonat biochar memfasilitasi pengapuran dalam tanah dan dapat meningkatkan pH tanah, baik tanah netral atau asam (Van Zweiten *et al.*, 2007). Mbagwu dan Piccolo (1997) melaporkan pH berbagai tekstur tanah meningkat pH hingga 1,2 unit dari pH 5,4-6,6. Tryon (1948) melaporkan peningkatan yang lebih besar dalam pH di tanah liat berpasir daripada di tanah bertekstur liat. pH tanah berbagai meningkat setelah aplikasi arang kayu (pH 6.15) daripada konifer arang (pH 5.15) mungkin karena kandungan abu yang berbeda masing-masing 6,38% dan 1,48% (Glaser *et al.*, 2002).

Bahan baku biochar dan kondisi pirolisis sebagian besar menentukan konsentrasi karbonat yang dihasilkan, membuat beberapa biochar agen pengapuran yang lebih baik daripada yang lain. Konsentrasi karbonat dapat bervariasi 0,5-33% (Chan *et al.*, 2007) tergantung pada kondisi awal. Arang kayu dilaporkan memiliki konsentrasi karbonat besar dan terbukti lebih efektif

dalam mengurangi keasaman tanah, sehingga memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kesuburan tanah (Steiner, 2007). Pengapuran tanah asam menurunkan kejenuhan Al, sementara meningkatkan kapasitas tukar kation dan kejenuhan basa. (Cochrane dan Sanchez, 1980; Mbagwu dan Piccolo 1997; Fisher dan Binkely 2000). Selain itu, sebenarnya ketersediaan hara meningkat melebihi jumlah yang diantisipasi oleh pertukaran kation sendiri sebagai akibat dari garam larut yang tersedia di biochar tersebut.

Efek pengapuran terkait dengan biochar mungkin tidak cocok untuk semua jenis tanah dan tanaman. Peningkatan pH tanah terkait dengan penambahan biochar telah menyebabkan defisiensi mikronutrien pada tanaman pertanian (Kishimoto dan Sugiura 1985) dan vegetasi hutan (Mikan dan Abrams 1995), sehingga penting untuk mengakui keberadaan vegetasi calcifuge sebelum aplikasi. Selain itu, banyak tanaman hutan, jamur dan bakteri berkembang di tanah pH rendah (Meurisse, 1976; Meurisse, 1985), sehingga mengubah pH tanah hutan melalui penambahan biochar dapat mengakibatkan pergeseran yang tidak menguntungkan di atas dan di bawah pertumbuhan. Memahami interaksi antara produksi biochar dan kondisi aplikasi, tekstur tanah, bahan organik, dan pH tanah akan menjadi faktor kunci dalam menentukan efek jangka panjang dari aplikasi biochar pada tanah hutan.

Dalam jangka pendek, biochar dapat menyediakan sumber nutrisi tersedia bagi tanaman sekali diterapkan pada tanah (Gaskin *et al.*, 2008; Sohi *et al.*, 2010). Sebagian kecil dari nutrisi dalam bahan baku, selain dari N, tetap tertahan di biochar dalam bentuk yang diekstrak. Tidak pasti apakah nutrisi larut dilepaskan seketika setelah ditambahkan ke lingkungan tanah, atau dilepaskan dari waktu ke waktu (Sohi *et al.* 2010), tapi kemungkinan akan tergantung pada sifat fisik tanah awal. Pengenalan cepat nutrisi yang mudah tersedia dan sejumlah kecil C labil dipertahankan dalam biochar bisa menyebabkan mineralisasi bahan organik tanah (Wardle *et al.* 2008a), terutama di lingkungan nutrisi terbatas. Selain itu, biochar alkali dapat meningkatkan pH tanah asam dan kemudian merangsang aktivitas mikroba sehingga lebih meningkatkan mineralisasi atau dekomposisi bahan organik tanah yang ada.

Sifat biochar dapat meningkatkan komunitas mikroba tanah dan

menciptakan lingkungan mikro yang mendorong kolonisasi mikroba. Biochar memiliki pori-pori dan luas permukaan internal tinggi, dan peningkatan kemampuan untuk menyerap bahan organik menyediakan habitat yang cocok untuk mendukung mikrobiota tanah yang mengkatalisasi proses yang mengurangi kehilangan N dan meningkatkan ketersediaan hara atau tanaman (Winsley, 2007). Pori-pori sebagai tempat berlindung dengan melindungi mikroba dari predasi dan pengeringan sementara bahan organik teradsorpsi ke biochar menyediakan energi C dan persyaratan nutrisi mineral (Warnock *et al.*, 2007; Saito dan Muramoto, 2002). Dalam ekosistem sedang dengan aplikasi biochar, mineralisasi N dan nitrifikasi ditingkatkan (Berglund *et al.*, 2004; Gundale dan DeLuca, 2007) dengan menciptakan lingkungan mikro yang menguntungkan yang meningkatkan kolonisasi oleh mikroba (Warnock *et al.*, 2007; Pietikainen *et al.*, 2000). Jika aktivitas mikroba mampu mengoksidasi biochar, kita perlu tahu mikroba mana dapat mencapai hal ini, mekanisme yang terjadi, dan dalam kondisi apa dan pada tingkat apa ini akan berlangsung.

Bukti pendukung peningkatan kelimpahan mikroba dan penumpukan C stabil dalam tanah berasal dari arang yang mengubah Anthrosol. Sementara banyak penelitian menyarankan penambahan biochar yang bermanfaat untuk meningkatkan aktivitas mikroba dan meningkatkan penyimpanan C, yang lain telah melaporkan dekomposisi bahan organik tanah dipercepat (priming) setelah penambahan biochar segar (arang). Liang *et al.* (2010) melaporkan stabilisasi bahan organik tinggi ditambahkan ke tanah dari lingkungan tropis yang mengandung arang tua. Mereka melaporkan mineralisasi bahan organik kurang lebih 25,5% pada Anthrosol dibandingkan dengan Oxisol yang berdekatan yang tidak diamendemen. Sedangkan arang mengubah Anthrosol memiliki lebih dari dua kali jumlah biomassa mikroba dari tanah yang berdekatan, respirasi karbon dioksida (CO₂) lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang berdekatan yang tidak diamendemen. Hal ini menunjukkan bahwa biomassa mikroba terkait dengan penambahan arang memiliki efisiensi metabolisme yang lebih tinggi (Liang *et al.* 2010). Temuan serupa mendukung proliferasi mikroba dan penurunan respirasi tanah telah dilaporkan dalam tanah mineral yang berubah dengan tingkat bervariasi biochar jagung (Jin *et al.*, 2008). Sebaliknya, potensi

biochar untuk menyebabkan atau mempercepat dekomposisi bahan organik (humus) permukaan tanah telah dilaporkan dalam studi 10 tahun dari kantong sampah di zona boreal (Wardle *et al.*, 2008a), di mana kerugian humus lebih cepat ditunjukkan pada arang. Demikian pula, Steinbeiss *et al.* (2009) menunjukkan bahwa biochar homogen dengan atau tanpa N bisa merangsang hilangnya C organik tanah (antara 8-13%) dalam tanah pertanian dan hutan. Ada juga bukti yang menunjukkan bahwa ketersediaan N tanah adalah faktor pengendali untuk efek priming char (DeLuca *et al.*, 2006; Gundale dan DeLuca, 2006; Neff *et al.*, 2002). Apakah aplikasi biochar menstabilkan bahan organik tanah atau hasil dalam priming masih dalam spekulasi dan sebagai saran penelitian lebih lanjut (Sohi *et al.*, 2010; Lehmann dan Sohi, 2008; Wardle *et al.*, 2008a; Wardle *et al.*, 2008b).

Chan *et al.* (2008) menyimpulkan bahwa perubahan kimia dalam tanah setelah aplikasi biochar mencerminkan sifat dari biochar yang diterapkan. Beberapa penelitian telah menemukan bahwa penambahan biochar ke tanah meningkatkan jumlah C (Van Zwieten *et al.*, 2010), N total, pH, KTK, P tersedia, dan kation tukar (misalnya Ca, Mg, Na, dan K) dalam tanah (Chan *et al.* 2008). Demikian pula, Mayor *et al.* (2010b) menemukan bahwa penambahan biochar meningkatkan Ca dan Mg tersedia, serta pH di dalam tanah. Chan *et al.* (2007) melaporkan bahwa penambahan biochar dari limbah hijau (campuran potongan rumput, sampah, dan pemangkasan tanaman) ke tanah mengakibatkan peningkatan karbon organik, Na, K, dan Ca, P diekstrak, dan penurunan tersedia Al dalam tanah. Umumnya, perubahan pada karakteristik tanah yang sebanding dengan jumlah biochar yang diterapkan (Chan *et al.*, 2007).

Biochar dihasilkan dari berbagai limbah organik yang tersedia melimpah. Kinoshita (2001) menyatakan bahwa biochar adalah padatan berpori hasil karbonisasi bahan-bahan mengandung karbon. Umumnya struktur arang berupa karbon amorf, yang tersusun dari karbon-karbon bebas berikatan kovalen membentuk struktur heksagonal datar (Puziy *et al.*, 2003). Kualitas biochar sangat tergantung pada sifat kimia dan fisik biochar yang dipengaruhi oleh jenis bahan baku dan metode karbonisasi (tipe alat pembakaran, temperatur), dan bentuk biochar (padat, serbuk, karbon aktif) (Ogawa, 2006). Widowati *et al.*,

2014 melaporkan ada interaksi antara jenis dan dosis biochar pada pencucian N dan K dan produksi biomasa jagung. Biochar mengandung karbon yang tinggi dan bersifat stabil di dalam tanah. Perubahan dari biomasa (karbon labil) menjadi biochar (karbon stabil) dapat mengurangi pelepasan CO₂, meningkatkan stok karbon di dalam tanah, resisten terhadap dekomposisi di dalam tanah sehingga dapat bertahan lama. Potensi penggunaan biochar sebagai bahan amandemen untuk menjaga kesinambungan kesuburan dan produktivitas tanah di daerah tropis telah dilaporkan oleh Topoliantz *et al.* (2005).

Biochar mempunyai afinitas yang tinggi terhadap kation. Afinitas yang tinggi sangat membantu dalam menyelesaikan masalah polusi tanah dan air karena penggunaan berbagai bahan kimia pertanian yang berlebihan. Di samping itu, biochar merupakan senyawa karbon yang relatif stabil, jauh lebih stabil dari senyawa organik yang tidak diarangkan (Badlock dan Smernik, 2002). Kedua karakteristik ini telah melahirkan gagasan bahwa biochar akan sangat bermanfaat untuk mengurangi laju degradasi tanah, sehingga kesinambungan produksi pangan dapat dijamin. Hasil penelitian pada tanah lempung berdebu telah menunjukkan bahwa aplikasi biochar pada tanaman jagung musim tanam pertama telah menghasilkan jagung yang relatif sama selama tiga musim tanam meskipun tidak menambahkan pupuk P dan K pada musim kedua dan ketiga (Widowati *et al.*, 2013) dan mengurangi pencucian nitrat dan kalium (Widowati *et al.*, 2012). Penerapan biochar dapat menghambat transformasi N-NH₄ menjadi N-NO₃. Setelah 28 hari inkubasi, ada 60 mg kg⁻¹ N-NH₄ (biochar pupuk kandang ayam) dan 52 mg kg⁻¹ (biochar sampah organik) dibandingkan dengan 40 mg kg⁻¹ N-NH₄ (pupuk kandang ayam) dan 12 mg kg⁻¹ N-NH₄ (kontrol). Hilangnya nitrogen karena pencucian dari tanah yang diberi dengan biochar adalah 470 - 510 mg, sedangkan dari tanah yang tidak diberi biochar 641 mg (Widowati *et al.*, 2011).

Biochar lebih stabil dari yang lainnya dan ketersediaan hara meningkat melebihi efek pupuk (Lehmann, 2009), tetapi sifat dasar stabilitas dan kapasitas nutrisi lebih efektif dibandingkan dengan bahan organik lain di dalam tanah. Kemampuan ini karena sifat kimia dan sifat fisik yang spesifik, seperti kepadatan tinggi (Liang *et al.*, 2006), yang menghasilkan retensi hara yang jauh lebih besar, dan dalam kombinasi dengan struktur kimia yang spesifik (Baldock dan Smernik,

2002) yang menyediakan jauh lebih besar ketahanan terhadap pembusukan mikroba dari bahan organik tanah lainnya (Cheng *et al.*, 2008). Pada tanah alkalin, biochar dapat meningkatkan P tersedia karena reaktivitas P meningkat dan membentuk senyawa tidak larut dengan Ca (DeLuca *et al.*, 2009). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biochar dapat meningkatkan produktivitas tanah melalui perbaikan sifat kimia, fisika dan biologi tanah (Glaser *et al.*, 2002 dan Chan *et al.*, 2007). Penggunaan biochar dapat meningkatkan pH tanah dan meningkatkan KTK tanah (Liang *et al.*, 2006; Yamato *et al.*, 2006). Steiner *et al.* (2008) telah melaporkan adanya peningkatan efisiensi pemupukan nitrogen pada tanah yang mengandung biochar. Perbaikan struktur tanah, peningkatan kapasitas penyimpanan air tanah dan penurunan kekuatan tanah telah dilaporkan oleh Chan *et al.* (2007) yang melakukan penelitian pada tanah yang mudah mengeras di Australia. Pengaruh positif biochar terhadap kesuburan biologi tanah terjadi melalui peningkatan aktivitas jasad mikro tanah sehingga dapat meningkatkan komposisi dan biomassa jasad mikro tanah (Steiner *et al.*, 2008). Lehmann dan Rondon (2006) melaporkan bahwa hasil tanaman meningkat dengan meningkatnya aplikasi biochar hingga 140 Mg C/ha (namun tingkat hasil maksimal belum tercapai) pada tanah di daerah tropis lembab. Rondon *et al.* (2004) menyatakan bahwa pertumbuhan biomassa (*Phaseolus vulgaris* L.) meningkat dengan aplikasi biochar sampai dengan 60 Mg C ha⁻¹ tetapi menurun dengan nilai yang sama seperti untuk perlakuan kontrol saat aplikasi biochar ditingkatkan menjadi 90 Mg C ha⁻¹ (walaupun hasil kacang masih meningkat). Lehmann dan Rondon (2006) menyimpulkan bahwa tanaman memberikan respon positif hingga biochar dosis 50 Mg C ha⁻¹. Menurut Widowati *et al.* (2015), hasil jagung tertinggi pada biochar sekam padi 30 t ha⁻¹.

Biochar meningkatkan porositas tanah dan kapasitas penyangga kelembaban yang menghasilkan pertumbuhan tanaman dan akar yang lebih baik (Khishimoto dan Sigiura, 1985). Hasil penelitian Yamato *et al.* (2006) menunjukkan bahwa penggunaan biochar dari kayu accasia dapat meningkatkan hasil tanaman jagung, kacang tunggak dan kacang tanah. Penggunaan biochar dari bahan limbah hasil pertanian telah terbukti, di samping meningkatkan hasil tanaman wortel, juga meningkatkan kandungan N (Chan *et al.*, 2007). Residu

biochar secara mandiri maupun dikombinasi dengan pupuk K berbagai dosis dapat meningkatkan hasil jagung pada musim tanam kedua. Residu biochar meningkatkan ketersediaan unsur hara N, P, K⁺, Ca⁺⁺, Na⁺ di dalam tanah setelah musim tanam jagung kedua (Widowati *et al.*, 2017).

2.7. Jenis tanah

Litosol. Dalam USDA, litosol termasuk dalam ordo Entisol, sama dengan tanah regosol. Jenis tanah yang berbatu-batu dengan lapisan tanah yang tidak terlalu tebal. Litosol merupakan tanah muda yang berasal dari pelapukan batuan yang keras dan besar serta miskin unsur hara sehingga bukan tanah yang subur dan tidak banyak tanaman yang bisa ditanam pada tanah litosol.

Proses terbentuknya tanah litosol dari pelapukan batuan beku dan sedimen yang masih baru (belum sempurna) sehingga butiran besar/kasar. Jenis tanah ini juga disebut tanah azonal. Tanah mineral tanpa atau sedikit perkembangan profil, belum mengalami perkembangan lebih lanjut sehingga hanya memiliki lapisan horizon yang dangkal (kedalaman tanah <30 cm) bahkan kadang-kadang merupakan singkapan batuan induk (outcrop). Tekstur tanah beranekaragam, dan pada umumnya berpasir, umumnya tidak berstruktur, terdapat kandungan batu, kerikil dan kesuburannya bervariasi. Tanah litosol dapat dijumpai pada segala iklim, umumnya di topografi berbukit, pegunungan, lereng miring sampai curam.

Pemanfaatan tanah litosol di Indonesia masih kurang maksimal. Tanah litosol tidak dimanfaatkan secara intensif seperti jenis tanah yang lainnya. Bahkan ada di daerah tertentu yang menjadikan tanah litosol ini hanya untuk lahan kosong yang dibiarkan untuk ditumbuhi rerumputan. Selain itu tanah litosol memiliki karakteristik belum terbentuk akibat pelapukan, mempunyai penampang yang besar, berbentuk kerikil, pasir, dan bebatuan kecil, mengalami perubahan struktur atau profil dari batuan asal, mempunyai kandungan unsur hara rendah, terbentuk dari proses meletusnya gunung berapi, memiliki tekstur tanah yang bervariasi, memiliki kesuburan tanah yang bervariasi. Untuk mengembangkan tanah ini harus dilakukan dengan cara menanam pohon supaya mendapatkan mineral dan unsur hara yang cukup. tekstur tanah litosol bermacam-macam ada yang lembut, bebatuan bahkan berpasir (Ilmu Geografi.com, 2016).

Di sebagian daerah, tanah litosol hanya digunakan sebagai lahan menanam rumput saja. Hal ini karena rumput-rumputan merupakan tumbuhan yang mampu bertahan hidup pada tanah yang kurang subur. Tanaman yang dapat tumbuh di tanah litosol adalah rumput ternak, palawija, dan tanaman keras. Jenis tanah ini banyak ditemukan di lereng gunung dan pegunungan di seluruh Indonesia yang mengalami proses erosi parah. Litosol terdapat di wilayah yang tersusun dari batuan kuarsit, konglomerat, granit, dan batu lapis. Jenis tanah ini juga dapat dijumpai di daerah sekitar pantai.

Mediteran. Tanah yang termasuk ordo Alfisol merupakan hasil pelapukan batuan kapur keras dan batuan sedimen. Disebut juga dengan tanah kapur karena terbentuk dari bebatuan kapur yang telah lapuk dan hancur yang memiliki unsur hara dalam jumlah yang sedikit sehingga tanah jenis ini tidak subur dan sangat mudah dilalui air. Tanah ini hanya berkontribusi sedikit dalam bidang pertanian, mengandung kalsium dan magnesium yang tinggi.

Tanah mediteran banyak terdapat di bawah tanaman hutan dengan karakteristik tanah, meliputi: akumulasi lempung pada horizon Bt, horizon E yang tipis, mampu menyediakan dan menampung banyak air, dan bersifat asam. Tanah mediteran mempunyai tekstur lempung dan bahan induknya terdiri atas kapur sehingga permeabilitasnya lambat (Graha, 2015). Tanah-tanah yang terdapat penimbunan liat di horison bawah (terdapat horison argilik) dan mempunyai kejenuhan basa tinggi yaitu lebih dari 35% pada kedalaman 180 cm dari permukaan tanah. Liat yang tertimbun di horison bawah ini berasal dari horison di atasnya dan tercuci kebawah bersama dengan gerakan air.

Tanah mediteran yang berbahan induk batu kapur mempunyai nilai pH yang lebih tinggi dibanding dari yang berbahan induk batu pasir. pH tanah dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu bahan induk tanah, pengendapan, vegetasi alami, pertumbuhan tanaman, kedalaman tanah dan pupuk nitrogen. Masalah utama dari jenis tanah mediteran adalah ketersediaan air dan tingginya pH tanah yang seringkali di atas 7. Tanah yang bersifat alkalis mengikat fosfat sehingga akan menjadi kendala bagi tanaman untuk tumbuh.

Tanah mediteran memiliki kandungan karbonat yang cukup besar sehingga tanah ini bisa berwarna merah kekuningan maupun abu-abu. Selain karbonat juga

ada mengandung besi, air, aluminium, dan beberapa bahan organik lain yang membuat tanah menjadi agak subur. Biasanya tanah mediteran digunakan untuk lahan pertanian khususnya menanam padi sawah.

Sifat fisik tanah mediteran merah kuning memiliki tekstur tanah bervariasi mulai dari geluh hingga lempung. Struktur ini beraneka ragam ukurannya ada yang kecil ada juga yang besar tergantung bahan organik pengikatnya. Konsistensi tanah mediteran merah kuning ini bervariasi mulai dari gembur hingga teguh. Ini merupakan konsistensi pada tanah lembab, pada umumnya konsistensi lembab ini terjadi pada tanah yang relatif lapang.

Regosol. Regosol termasuk ordo entisol merupakan tanah yang masih sangat muda yaitu baru tingkat permulaan dalam perkembangan. Tanah belum mengalami perkembangan yang sempurna dan hanya memiliki horizon A yang marginal. Iklim yang sangat ekstrim basah atau kering, sehingga perombakan bahan induk terhambat. Adanya faktor erosi yang selalu menggerus epipedon, sehingga tidak pernah terbentuk horizon iluviasi. Terbentuk dibawah pengaruh iklim kering dengan bahan induk didominasi mineral kuarsa yang sangat resisten terhadap pelapukan. Reaksi-reaksi kimia dalam tanah berlangsung sangat lambat dan cenderung miskin hara. Umur tanah masih muda dengan bahan organik yang rendah sehingga tidak dapat menampung air dan mineral yang mendukung pertumbuhan tanaman (Meftah, 2013). Selain itu regosol merupakan salah satu jenis tanah marginal di daerah beriklim tropika basah yang mempunyai produktivitas rendah tetapi masih dapat dikelola dan digunakan untuk usaha pertanian. Tanah regosol memiliki ciri-ciri: berbutir kasar, berwarna kelabu sampai kuning.

Tanah regosol sangat cocok untuk pertanian khususnya tanaman padi, kelapa, tebu, palawija, tembakau, dan sayuran. Hal inilah yang menyebabkan tanah di lereng gunung berapi yang baru saja mengalami erupsi sangat subur dan sangat baik untuk pertanian. Tanah regosol terjadi akibat adanya erupsi gunung berapi yang terjadi bertahun-tahun sebelumnya

Tanah regosol memiliki tekstur tanah biasanya kasar, struktur lemah, konsentrasi lepas sampai gembur dan pH 6-7. Makin tua umur tanah, struktur dan konsentrasinya padat, bahkan seringkali membentuk padas dengan drainase dan

porositas terhambat. Umumnya jenis tanah ini belum membentuk agregat sehingga peka terhadap erosi, cukup mengandung unsur P dan K yang masih segar dan belum tersedia untuk diserap tanaman dan kandungan N rendah. Kendala utama pada regosol adalah keterbatasan air karena tekstur tanah dan rendahnya bahan organik tanah sehingga menyebabkan daya simpan tanah terhadap air menjadi rendah dan kesuburan tanah juga rendah.

2.8. Lahan Kering

Menurut FAO (2008) lahan kering adalah daerah mencakup yang diklasifikasikan dengan arid (masa pertanaman 1-59 hari), semi arid (masa pertanaman 60-119 hari) dan arid basah (masa pertanaman 120-179 hari). Dengan demikian lahan kering adalah pertanian dengan masa pertanaman 1-179 hari dan tidak memiliki fasilitas pengairan. Sawah tadah hujan juga tidak termasuk dalam lahan kering. Menurut Satari (1977), lahan yang dalam keadaan alamiah, lapisan atas dan bawah tubuh tanah (*top soil* dan *sub soil*) sepanjang tahun tidak jenuh air dan tidak tergenang serta kelembaban tanah sepanjang tahun berada dibawah kapasitas lapang. Muljadi (1977) menyatakan lahan kering adalah lahan yang hampir sepanjang tahun tidak tergenang secara permanen. Ahli tanah Indonesia memberikan batasan lahan kering adalah lahan dimana kebutuhan air tanaman tergantung sepenuhnya air hujan dan tidak pernah tergenang secara tetap. Berdasarkan ketersediaan air untuk lahan pertanian, maka lahan budidaya pertanian dibedakan menjadi lahan basah (sawah) dan lahan kering (ladang). Lahan basah atau sawah seringkali diterjemahkan sebagai wet land atau low land, sedangkan lahan kering atau ladang diterjemahkan sebagai dry land atau up land. Lahan kering sendiri diartikan sebagai sebidang lahan yang mempunyai keterbatasan sumber air sepanjang tahun dan tidak pernah dalam keadaan tergenang. Akibat keterbatasan air maka kandungan lengas tanah selalu berada di bawah kadar air kapasitas lapangan. Selain itu perbandingan jumlah curah hujan yang tidak dapat diimbangi dengan kebutuhan air untuk evaporasi dan transpirasi sepanjang tahun seringkali juga digunakan sebagai penjelasan istilah lahan kering.

Potensi Lahan Kering. Lahan kering merupakan salah satu agroekosistem yang mempunyai potensi besar untuk usaha pertanian, baik tanaman

pangan, hortikultura (sayuran dan buah-buahan) maupun tanaman tahunan dan peternakan. Berdasarkan arahan Tata Ruang Pertanian Indonesia skala 1:1.000.000 (Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat 2001), Indonesia memiliki daratan sekitar 188,20 juta ha terdiri atas 148 juta ha lahan kering (78%) dan 40,20 juta ha lahan basah (22%). Namun tidak semua lahan kering sesuai untuk pertanian, terutama karena adanya faktor pembatas tanah seperti lereng yang sangat curam atau solum tanah dangkal dan berbatu, atau termasuk kawasan hutan. Dari total luas 148 juta ha, lahan kering yang sesuai untuk budidaya pertanian hanya sekitar 76,22 juta ha (52%), sebagian besar terdapat di dataran rendah (70,71 juta ha atau 93%) dan sisanya di dataran tinggi. Di wilayah dataran rendah, lahan datar bergelombang (lereng < 15 %) yang sesuai untuk pertanian tanaman pangan mencakup 23,26 juta ha. Lahan dengan lereng 15-30 % lebih sesuai untuk tanaman tahunan (47,45 juta ha). Di dataran tinggi, lahan yang sesuai untuk tanaman pangan hanya sekitar 2,07 juta ha, dan untuk tanaman tahunan 3,44 juta ha.

Kondisi luas lahan pertanian di Indonesia (lahan kering dan basah) di Indonesia 59,7 juta Ha sedang di Jawa 9,6 juta Ha. Luas lahan kering di Indonesia 51,7 juta Ha, sedang di Jawa 6,1 juta Ha. Hal ini berarti lahan pertanian berupa lahan kering di Indonesia adalah 86,24 %, sedang di Jawa lahan pertanian berupa lahan kering 63,54%. Potensi lahan kering ini prospek ke depan menjadi tumpuhan untuk penyediaan lahan di Indonesia.

Kabupaten Malang sebagian bagian kecil dari wilayah Jawa Timur di Indonesia, penataan dan penggunaan wilayah dikembangkan melalui perencanaan dengan ditetapkan melalui Peraturan Daerah tentang RTRW (Rencana Tata Ruang dan Wilayah) PP. No.41/2010. Wilayah Kabupaten Malang dikelompokkan menjadi kawasan pertanian sawah, kawasan tegalan (tanah ladang), kawasan pengelolaan lahan kering, kawasan perkebunan, kawasan hortikultura, kawasan peternakan dan kawasan perikanan. Kawasan tegalan (tanah ladang) perusahaan pertanian mengandalkan air hujan (tadah hujan) seluas 113.582,12 ha atau 32,73% dari luas daerah Kabupaten Malang. Upaya pengelolaan kawasan tegalan meliputi (a) kawasan pertanian lahan kering secara fisik dikembangkan tanaman tahunan dengan dukungan pola tanam tumpangsari palawija dengan hortikultura, (b)

pengembangan perkebunan skala kecil, dan (c) dukungan pengembangan ekonomi memungkinkan alih fungsi lahan menjadi area terbangun. Lebih lanjut kasawan pengelolaan lahan kering diarahkan melalui (a) pengembangan palawija dan hortikultura dengan mengutamakan komoditas tanaman yang bernilai ekonomi tinggi dan adaptasi lingkungan dan (b) kawasan ini guna mendukung pengembangan ekonomi pedesaan sehingga alih fungsi lahan pada beberapa area mempunyai nilai tambah pada perkembangan ekonomi pedesaan

Kendala Lahan Kering. Pada umumnya lahan kering memiliki tingkat kesuburan tanah yang rendah, terutama pada tanah-tanah yang tererosi, sehingga lapisan olah dan kadar bahan organik rendah. Kondisi ini makin diperburuk dengan terbatasnya penggunaan pupuk organik, terutama pada tanaman pangan semusim. Di samping itu, secara alami kadar bahan organik tanah di daerah tropis cepat menurun akibat intensitas radiasi dan temperatur yang tinggi, penurunan dapat mencapai 30-60% dalam waktu 10 tahun (Brown dan Lugo 1990 dalam Suriadikarta *et al.*, 2002). Bahan organik memiliki peran penting dalam memperbaiki sifat kimia, fisik dan biologi tanah. Meskipun kontribusi unsur hara dari bahan organik tanah relatif rendah, peranannya cukup penting karena selain unsur NPK, bahan organik juga merupakan sumber unsur esensial lain seperti C, Zn, Cu, Mo, Ca, Mg, dan Si (Suriadikarta *et al.*, 2002).

Dari luas total lahan kering Indonesia sekitar 148 juta ha, 102,80 juta ha (69,46%) merupakan tanah masam (Mulyani *et al.*, 2004). Tanah tersebut didominasi oleh Inceptisols, Ultisols dan Oxisols, dan sebagian besar terdapat di Sumatera, Kalimantan dan Papua. Lahan kering masam di wilayah berbukit dan bergunung cukup luas, mencapai 53,50 juta ha atau 52% dari total tanah masam di Indonesia. Tanah masam dicirikan oleh pH rendah (<5,50), kadar Al tinggi, fiksasi P tinggi, kandungan basa-basa dapat tukar dan KTK rendah, kandungan besi dan mangan mendekati batas meracuni tanaman, peka erosi, dan miskin unsur biotik (Adiningsih dan Sudjadi 1993, Soepardi 2001).

Di Indonesia, lahan kering sebagian besar terdapat di wilayah bergunung (> 30%) dan berbukit (15-30%), dengan luas masing-masing 51,30 juta ha dan 36,90 juta ha (Hidayat dan Mulyani 2002). Lahan kering berlereng curam sangat peka terhadap erosi, terutama bila diusahakan untuk tanaman pangan semusim dan

curah hujannya tinggi. Lahan semacam ini lebih sesuai untuk tanaman tahunan, namun kenyataannya banyak dimanfaatkan untuk tanaman pangan, sedangkan perkebunan banyak diusahakan pada lahan datar bergelombang dengan lereng < 15%. Lahan kering yang telah dimanfaatkan untuk perkebunan mencakup 19,60 juta ha (Badan Pusat Statistik 2005), terutama untuk tanaman kelapa sawit, kelapa dan karet.

Keterbatasan air pada lahan kering mengakibatkan usahatani tidak dapat dilakukan sepanjang tahun, dengan indeks pertanaman (IP) kurang dari 1,50. Penyebabnya antara lain adalah distribusi dan pola hujan yang fluktuatif, baik secara spasial maupun temporal. Wilayah barat lebih basah dibandingkan dengan wilayah timur dan secara temporal terdapat perbedaan distribusi hujan pada musim hujan dan kemarau. Pada beberapa wilayah di Sumatera, Kalimantan, dan Sulawesi, curah hujan melebihi 2.000 mm/tahun, sehingga IP dapat ditingkatkan menjadi 2-2,50 (Las *et al.*, 2000; Amien *et al.*, 2001).

Menurut Badan Pusat Statistik (2005), lahan pertanian Indonesia meliputi 70,20 juta ha, sekitar 61,53 juta ha diantaranya berupa lahan kering dengan produktivitas relatif rendah, jauh di bawah potensi hasil. Produktivitas padi gogo berkisar antara 2-3 t/ha, padahal potensinya dapat mencapai 4-5 t/ha (Sumarno dan Hidayat, 2007). Demikian juga komoditas lain, seperti kedelai, masih dapat ditingkatkan. Menurut Subandi (2007), peluang peningkatan produktivitas kedelai masih terbuka, karena hasil di tingkat petani (0,60-2 t/ha) masih jauh lebih rendah dibandingkan dengan hasil di tingkat penelitian yang berkisar antara 1,70-3,20 t/ha.

Selain meningkatkan produktivitas lahan kering yang sudah ada (*existing*), produksi bahan pangan dapat pula ditingkatkan melalui perluasan areal tanam pada lahan kering. Dari 76,22 juta ha lahan kering yang sesuai untuk pertanian, lahan yang telah digunakan (tegalan, perkebunan, kayu-kayuan dan pekarangan) baru mencapai 47,76 juta ha, sehingga masih tersedia 28,46 juta ha lahan untuk perluasan areal pertanian, termasuk lahan terlantar 13,77 juta ha.

Pengelolaan kesuburan tanah tidak terbatas pada peningkatan kesuburan kimiawi, tetapi juga kesuburan fisik dan biologi tanah. Hal ini berarti bahwa pengelolaan kesuburan tanah tidak cukup dilakukan hanya dengan memberikan

pupuk saja, tetapi juga perlu disertai dengan pemeliharaan sifat fisik tanah sehingga tersedia lingkungan yang baik untuk pertumbuhan tanaman, kehidupan organisme tanah, dan untuk mendukung berbagai proses penting di dalam tanah.

Penerapan teknologi pemupukan organik juga sangat penting dalam pengelolaan kesuburan tanah. Pupuk organik dapat bersumber dari sisa panen, pupuk kandang, kompos atau sumber bahan organik lainnya. Selain menyumbang hara yang tidak terdapat dalam pupuk anorganik, seperti unsur hara mikro, pupuk organik juga penting untuk memperbaiki sifat fisik dan biologi tanah. Lahan kering akan mampu menyediakan airdan hara yang cukup bagi tanaman bila struktur tanahnya baik sehingga mendukung peningkatan efisiensi pemupukan.

Erosi bukan hanya mengangkut material tanah, tetapi juga hara dan bahan organik, baik yang terkandung di dalam tanah maupun yang berupa *input* pertanian. Erosi juga merusak sifat fisik tanah. Oleh karena itu, penerapan teknik konservasi merupakan salah satu prasyarat keberlanjutan usaha tani pada lahan kering. Target yang harus dicapai adalah menekan erosi sampai di bawah batas toleransi dengan kisaran antara 1,10-13,50 t/ha/tahun, bergantung pada sifat tanah dan substratnya (Thompson *dalam* Arsyad 2000). Untuk menekan erosi sampai di bawah ambang batas toleransinya, beberapa jenis teknik konservasi dapat diterapkan dengan memperhatikan persyaratan teknis (Agus et al., 1999). Teras bangku merupakan teknik konservasi yang banyak diterapkan di Jawa dan Bali. Teknik ini telah dikembangkan secara luas sejak tahun 1975 melalui inpres penghijauan (Siswomartono et al., 1990).

Pengaturan pola tanam dengan mengusahakan permukaan lahan selalu tertutup oleh vegetasi dan/atau sisa-sisa tanaman juga berperan penting dalam konservasi tanah. Pengaturan proporsi tanaman semusim dan tahunan pada lahan kering juga penting; makin curam lereng sebaiknya makin tinggi proporsi tanaman tahunan. Pengaturan jalur penanaman atau bedengan yang searah kontur juga berkontribusi dalam mencegah erosi.

Pengolahan tanah secara intensif merupakan penyebab penurunan produktivitas lahan kering. Hasil penelitian menunjukkan pengolahan tanah yang berlebihan dapat merusak struktur tanah (Larson dan Osborne 1982;

Suwardjo et al. 1989) dan menyebabkan kekahatan bahan organik tanah (Rachman *et al.*, 2004).

Rehabilitasi lahan-lahan terdegradasi dapat mendukung optimalisasi lahan kering, antara lain dengan menanam legum penutup tanah atau tanaman penghasil bahan organik lainnya, khususnya yang bersifat insitu seperti *alley cropping* dan *strip cropping*. Penggunaan bahan pembenah tanah baik organik maupun mineral juga dapat merehabilitasi lahan terdegradasi.

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT

3.1. Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan karakterisasi biochar-pupuk organik dari jenis biomasa.
2. Menentukan waktu inkubasi terbaik untuk meningkatkan bahan organik tanah yang akan mempengaruhi kesuburan tanah dari agroekosistem lahan kering.
3. Mengkaji perubahan unsur hara dan sifat-sifat tanah dari berbagai jenis biochar-pupuk organik dan jenis tanah dari agroekosistem lahan kering.

3.2. Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi tentang karakteristik biochar yang dihasilkan dari tongkol jagung, sekam padi, dan limbah industri tembakau (jengkok).
2. Membantu untuk manajemen tanah yang lebih efektif dari sifat-sifat tanah yang berbeda sehingga mendapatkan manfaat yang maksimal dari penerapan biochar dan pupuk organik.
3. Memberikan informasi tentang perubahan bahan organik tanah setelah aplikasi biochar pada beberapa jenis tanah.
4. Memberi informasi tentang kontribusi unsur hara dari jenis biochar-pupuk organik pada beberapa jenis tanah.
5. Memberi informasi tentang penggunaan jenis biochar-pupuk organik untuk meningkatkan sifat-sifat tanah dari beberapa jenis tanah dari agroekosistem lahan kering.
6. Memberikan kontribusi dalam meningkatkan produktivitas lahan kering pada beberapa jenis tanah.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Produksi biochar

Penelitian diawali dengan memproduksi biochar dari jenis biomasa (sekam padi, dan tongkol jagung) dalam reaktor baja pada suhu 350 – 500⁰C selama 4 jam di Laboratorium Bioenergi Universitas Tribhuwana Tungadewi Malang, Biochar tersebut diproduksi dengan alat pirolisis *fixed bed* yang dilengkapi dengan sistem separator yang tersambung dengan kondensor. Biochar jengkok tembakau diproduksi pada suhu 700⁰C selama 15 menit di PT. Gudang Garam, Tbk dengan alat pirolisis extrusion Etia. Bahan baku sekam padi kering dari penggilingan padi komersial yang memproses beras dan tongkol jagung kering dari PT. Bisi Internasional Kediri. Biochar tongkol jagung digiling untuk < 2 mm, biochar jengkok tembakau dan biochar sekam padi langsung diaplikasi.

Biochar-pupuk organik akan dianalisis untuk mengetahui karakteristiknya sebelum diaplikasi ke tanah. Karakterisasi biochar-pupuk organik meliputi pH, KTK, C, kandungan mudah menguap, kadar abu dan hara, ukuran partikel, dan kemampuan pegang air.

Karakterisasi biochar dilakukan dengan mengukur sifat fisika yang menggunakan prosedur standar. Sifat fisik seperti bulk density (FCO, 1985), daya pegang air dengan metode AOAC 19th Ed, 2012, method 969.05; total C dengan metode gravimetri, ukuran partikel (ASTM) dengan mechanical. Pupuk organik dianalisis dengan prosedur standar.

4.2. Inkubasi biochar dan pupuk organik di dalam tanah

Percobaan dilakukan di rumah kaca Universitas Tribhuwana Tungadewi, Malang, Indonesia (7^o.48 '50 "BS dan 112^o.37 '41" BT) dengan suhu harian bervariasi sekitar 16^o- 36^oC dengan kelembaban relatif sekitar 43-86%, dan intensitas cahaya 365-1997 lux.

Sampel tanah komposit 0-30 cm diambil dari lahan kering di Kabupaten Malang bagian Selatan, tepatnya di Desa Purwodadi Kecamatan Donomulyo, Desa Sukowilangun Kecamatan Kalipare, dan Desa Sumberrejo Kecamatan

Poncokusumo. Kecamatan Donomulyo terletak pada $112^{\circ}23'30'' - 112^{\circ}29'64''$ BT dan $8^{\circ}16'75'' - 8^{\circ}19'81''$ LS dengan tanah dari tipe Litosol Ordo Entisol. Bahan induk tanah Litosol dari jenis batuan beku atau sedimen keras yang belum mengalami proses pelapukan secara sempurna. Tanah tidak subur dan produktivitasnya rendah. Kecamatan Kalipare terletak $21,95^{\circ} - 29,61^{\circ}$ BT dan $9,40^{\circ} - 16,48^{\circ}$ LS dengan tanah Mediteran Merah Kuning Ordo Afisol. Tanah dari Kalipare tidak digunakan untuk pertanian karena hampir semua jenis tanaman tidak bisa tumbuh dengan baik. Kecamatan Poncokusumo, berjarak tempuh ke ibu kota kabupaten kurang lebih sejauh 24 km dengan tanah Regosol Ordo Entisol. Tanah dari Poncokusumo ditanami sayuran yang pertumbuhannya kurang baik.

Sampel tanah kering udara pada suhu kamar dengan kadar air $0,34 \text{ g g}^{-1}$ (Regosol); $0,5 \text{ g g}^{-1}$ (Litosol); dan $0,61 \text{ g g}^{-1}$ (Mediteran). Tanah ditempatkan dalam pot plastik dengan menggunakan sampel tanah yang diambil dari 3 jenis tanah di Kabupaten Malang. Setiap sampel tanah ditempatkan ke dalam pot plastik (diameter 18 cm dan tinggi 25 cm).

Perlakuan diatur dalam Rancangan Tersarang, yang terdiri atas 2 faktor. Faktor pertama adalah jenis tanah dari agroekosistem lahan kering yang produktivitasnya rendah, yaitu : (1). Alfisol/Mediteran (Kec. Kalipare), (2). Alfisol/Litosol (Kec. Donomulyo), (3). Regosol/Entisol (Kec. Poncokusumo). Faktor kedua adalah biochar-pupuk organik terdiri atas 12 perlakuan yang tersarang pada faktor pertama, yaitu:

1. Tanpa biochar-pupuk organik
2. Biochar sekam padi (S)
3. Biochar tongkol jagung (T)
4. Biochar jengkok tembakau (J)
5. Biochar sekam padi-kompos (SK)
6. Biochar sekam padi- kandang kotoran ayam (SA)
7. Biochar tongkol-kompos (TK)
8. Biochar tongkol- kandang kotoran ayam (TA)
9. Biochar jengkok-pupuk kandang kotoran ayam (JA)
10. Biochar jengkok tembakau-kompos (JK)
11. Kompos (K)

12. Pupuk kandang kotoran ayam (A)

Perlakuan diulang 3 kali. Kombinasi perlakuan sebanyak $3 \times 12 \times 3 = 108$ pot. Percobaan inkubasi dilakukan dalam pot yang diletakkan di rumah kaca. Biochar maupun pupuk organik yang diberikan secara tunggal, masing-masing dengan dosis 150 g pot^{-1} tetapi jika digunakan secara bersama (campuran) maka dosis yang digunakan masing-masing menjadi 75 g pot^{-1} . Ini setara dengan amandemen biochar dan atau pupuk organik $9,6 \text{ ton ha}^{-1}$ dalam lapisan olah 20 cm. Biochar-pupuk organik diaplikasikan ke dalam tanah dan dicampur secara merata dan dibiarkan selama 98 hari (14 minggu). Tanah sebanyak 3,85 kg dimasukkan ke dalam pot plastik dan ditambahkan dengan berlakuan menjadi 4 kg pot^{-1} . Inkubasi biochar-pupuk organik di dalam tanah dan diamati pada 7, 14, 28, 56, dan 95 hari. Selama inkubasi, kadar air tanah dipertahankan pada $0,11 - 0,18 \text{ g g}^{-1}$ (ekivalen dengan 70 - 80% dari kapasitas lapangan) dengan penambahan air 1 liter setiap 21 hari. Selama masa inkubasi (98 hari) diberi air di setiap 3 minggu (70-80% kapasitas lapangan). Setelah masa inkubasi dilakukan pengamatan terhadap sifat kimia, fisika, dan biologi tanah. Sifat kimia tanah diamati setiap masa inkubasi (5 kali pengamatan), meliputi pH dan C organik, KTK, KB, N, P, K, Ca, Mg, Na, Mn. Sifat fisik tanah diamati pada awal sebelum penelitian dan pada inkubasi 98 hari. Pada awal penelitian dilakukan pengamatan sifat fisik, meliputi tekstur, bobot partikel tanah, kadar air (pF 0; 2; 4,2) secara gravimetrik untuk menentukan persentase ruang pori tanah. Pengamatan sifat fisik tanah pada akhir pengamatan meliputi bobot isi dan partikel, porositas, dan kadar air (pF). Dari kurva pF dapat dihitung persentase pori mikro, meso, dan makro. Kadar air tanah pada kurva 4,2 dikalikan dengan 100 (pori mikro), kadar air pada pF 2 dikurangi pF 4,2 dikalikan dengan 100 (pori meso), dan kadar air pada pF 0 dikurangi pF2 dikalikan 100 (pori makro). Sifat fisik tanah diamati dengan menggunakan ring sample (diameter 5 cm dan tinggi 5,5 cm) yang dibenamkan sampai 15 cm dari permukaan tanah atas. Sifat biologi tanah diamati setelah 45 dan 98 hari, meliputi kandungan mikrobial (bakteri dan jamur). Pengamatan untuk evaporasi selama 4 kali yang dilakukan setiap 3 minggu sekali, dimulai pada 3,6,9,12 minggu. Pot plastik diberi air sampai kapasitas lapangan pada 1 hari setelah aplikasi biochar sebanyak 1-2 liter/pot plastik. Pemberian air dilakukan setiap 3 minggu sekali,

sebanyak 1 liter per pot dengan menggunakan air sumur. Untuk pengamatan evaporasi dilakukan dengan penimbangan pot yang dilakukan satu hari sebelum dan sesudah pemberian air.

Sifat tanah ditentukan dengan menggunakan metode tanah *Laboratorium Survey Manual*, (2004). Distribusi ukuran partikel dengan metode pipet; karbon organik tanah dengan oksidasi menggunakan kalium dikromat. Bobot isi, bobot partikel, dan porositas dengan ring sampel.

Data dianalisis dengan menggunakan program software SPSS versi 13.0. Analisis ragam sesuai rancangan dan dilanjutkan dengan uji DMRT.

BAB V

HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1. Karakteristik Jenis Tanah

Karakteristik setiap jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 1. Tanah regosol bertekstur pasir berlempung yang memiliki karbon organik yang sangat rendah dengan fraksi pasir 86%. Tanah litosol dan mediteran bertekstur liat, masing-masing 65% dan 76%. Karbon organik tanah rendah (litosol) dan sangat rendah (mediteran). Semua tanah memiliki C/N yang rendah dan pH masam (mediteran dan regosol) sampai agak masam (litosol).

Tabel 1. Karakteristik tanah sebelum penelitian

Parameter	Litosol	Mediteran	Regosol
pH H ₂ O	6,40	5,30	5,70
pH KCl 1N	6,10	5,00	5,30
C organik (%)	1,36	0,72	0,48
N total (%)	0,17	0,10	0,07
C/N	8	7	7
P.Braysl (mg kg ⁻¹)	45,65	45,65	106,52
K (me/100g)	0,35	0,34	0,36
Na (me/100g)	0,37	0,37	0,31
Ca (me/100g)	25,83	12,44	5,14
Mg (me/100g)	1,42	4,73	0,79
KTK (me/100g)	32,68	30,43	12,40
Jumlah basa (me/100g)	27,97	17,88	6,6
KB (%)	86	59	53
Pasir (%)	11	9	86
Debu (%)	24	15	3
Liat (%)	65	76	11
Tekstur	liat	liat	Pasir berlempung

5.2. Karakteristik Biochar dan Pupuk Organik

Tanggapan positif dari aplikasi biochar tidak hanya berhubungan dengan nutrisi tanaman termasuk netralisasi toksin (Wardle *et al.*, 1998); memperbaiki sifat fisik tanah (misalnya peningkatan kapasitas menahan air) (Iswaran *et al.*, 1980) atau mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Kapasitas menahan air dari biochar maupun pupuk organik tergantung dari bahan baku biomasa.

Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos. Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010) menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

Bulk density biochar sekam padi, tongkol jagung, dan jengkok tembakau masing-masing 0,65; 0,27; dan 0,31 g cm⁻³. Menurut Ammu and Anitha (2015), karakter biochar seperti bobot isi rendah, porositas dan kapasitas pegang air tinggi membuat biochar cocok untuk pengelolaan hara dan air. Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki bulk density jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis (~ 0,3 Mg m⁻³ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah 1,3 Mg m⁻³) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi bulk density tanah yang umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman.

Karakteristik fisik dari biochar dan pupuk organik disajikan pada Tabel 2. Total karbon biochar tongkol jagung > biochar jengkok tembakau > biochar sekam. Karbon organik dari pupuk kandang kotoran ayam > kompos. Kadar karbon terendah dan abu tertinggi pada biochar sekam padi, sebaliknya kadar karbon tertinggi dan abu terendah pada biochar tongkol jagung. Hal ini sejalan dengan Enders *et al.* (2012) bahwa kandungan abu yang relatif tinggi yang dihasilkan biochar karbon fixed relatif rendah, yang disebabkan oleh kadar abu yang tinggi menghambat pembentukan karbon. Ada yang signifikan ($p < 0,05$) pengaruh bahan baku dan suhu pada sifat agronomi dari biochar. Kadar abu pada penelitian ini (24 -53%) yang memiliki kisaran yang sama seperti yang dilaporkan Muhammad *et al.*, (2014) yaitu kadar abu biochar berkisar antara 25-52% dan kadar abu secara signifikan ($P < 0,05$) meningkat dengan meningkatnya suhu. Suhu pirolisis dan bahan baku memiliki dampak yang signifikan terhadap sifat kimia dari biochar.

Kapasitas menahan air tergantung dari biochar maupun pupuk organik. Kapasitas pegang air dari biochar sekam padi > biochar tongkol jagung > pupuk kandang kotoran ayam > biochar jengkok tembakau > kompos.

Tabel 2. Karakteristik biochar, biomasa, dan pupuk organik

Parameter	Biochar, biomasa, dan pupuk organik							
	Biochar sekam padi	Sekam padi	Biochar tongkol jagung	Tongkol jagung	Biochar jengkok tembakau	Jengkok tembakau	Pupuk kandang kotoran ayam	Kompos
Kapasitas Pegang Air (%)	326,04		249,6		143,7		213,38	111,68
Bulk Density (gm/cm ³)	0,65		0,27		0,31			
Ukuran Partikel (%)								
- Mesh 325 (0,044 mm)	2,7		0,8		0,55		0,15	0,2
- Mesh >60 (0,250 mm)	16,75		14,25		4,9		3,05	7,6
- Mesh Ukuran Butiran 30 (0,595 mm)	42,6		54,2		79,9		10,55	22
- Mesh 18 (1,00 mm)	68,15		70,8		94,9		20,95	36,2
pH (H ₂ O 1:2,5)	9,44	4,30	9,46	5,10	8,91	5,60	6,00	7,30
Total C (%)	29,8		45,6		40			
C organik (%)		30,08		34,24		22,56	25,02	15,58
Ec (mili siemens)	2,56		4,67		16,45		12,65	1,31
CEC cmol kg ⁻¹	19,53		40,12		34,62			
KTK me 100 g ⁻¹							37,78	59,03
Abu (%) (Ash)	53,4		23,6		32,8			
N (%)	0,57	0,92	0,51	0,84	1,83	2,45	4,05	2,60
P (%)	0,14	1,75	0,46	0,35	0,44	2,19	11,62	3,87
K (%)	1,71	0,25	3,96	0,68	5,15	0,38	0,29	0,04
S, SO ₄ (%)	0,22		0,41		0,42		0,36	0,29
Na (%)	0,33	0,35	1,63	0,39	1,83	2,32	1,81	1,77
Ca (%)	0,92	0,63	2,45	0,44	3,88	1,45	1,69	1,94
Mg (%)	0,03	0,23	0,28	0,06	0,36	0,73	0,35	0,44
Mn (%)	0,08		0,03		0,04		0,04	0,04

Downie *et al.* (2009) dan Sohi *et al.* (2010) menyampaikan luas permukaan dan porositas biochar di bawah suhu pirolisis yang berbeda memiliki potensi yang signifikan terhadap efek pada kapasitas pegang air, kapasitas adsorpsi (kemampuan partikel untuk tetap ke permukaan biochar) dan kemampuan retensi hara.

Beberapa macam ukuran pori biochar lebih tinggi daripada ukuran pori pupuk organik (Tabel 2). Mesh ukuran butiran 30 dan 18 dari biochar jengkok lebih lebih besar dari biochar tongkol tetapi mesh 325 dan diatas 60 dari biochar jengkok lebih kecil dari biochar tongkol. Ukuran partikel dari biochar dihasilkan dari pirolisis bahan organik yang tergantung pada sifat dari bahan asli. Karakteristik fisik dan kimia dari biochar dipengaruhi oleh sifat-sifat bahan baku dan kondisi pirolisis, seperti suhu dan waktu tinggal dalam tungku (Gaskin *et al.*, 2008). Keiluweit *et al.* (2010) melaporkan porositas meningkat (dan maka luas permukaan) digabungkan dengan pengurangan karbon total dan zat terbang. Volatil matter dari biochar tongkol jagung > biochar jengkok tembakau > biochar sekam padi.

5.3. Pengaruh jenis biochar dan pupuk organik pada sifat fisik pada beberapa jenis tanah

Perubahan sifat fisik tanah dalam menanggapi penggunaan jenis biochar dan pupuk organik bervariasi dengan jenis tanah. Jenis biochar dan atau pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bobot isi, bobot partikel, porositas, dan persentase pori-pori tanah (makro, meso, dan mikro) dengan nilai signifikan $< \alpha(=0.05)$ (Tabel 3-7).

Bobot Isi Tanah

Secara umum pemberian biochar dan pupuk organik menurunkan bobot isi tanah pada ketiga jenis tanah tetapi tidak semua perlakuan memberikan tingkat penurunan yang sama pada masing-masing jenis tanah. Menurut Brady dan Weil (2004), biochar memiliki *bulk density* jauh lebih rendah daripada tanah mineral di tropis ($\sim 0,3 \text{ Mg m}^{-3}$ untuk biochar dibandingkan dengan berat volume tanah $1,3 \text{ Mg m}^{-3}$) sehingga aplikasi biochar dapat mengurangi *bulk density* tanah yang

umumnya diinginkan untuk pertumbuhan tanaman. Selain itu aplikasi biochar mengurangi kekuatan tanah (Chan *et al.*, 2007). Pemberian bahan organik mempengaruhi agregasi sehingga tercipta ruang pori-pori yang berakibat pada penurunan partikel padatan tanah yang berimplikasi untuk mengurangi pemadatan tanah yang mempengaruhi akar menembus tanah. Setelah diberi perlakuan, nilai bobot isi tanah terendah pada masing-masing jenis tanah berbeda. Bobot isi tanah regosol terendah dari perlakuan biochar sekam padi yang memiliki *Bulk density* lebih tinggi dari jenis biochar lainnya.

Ketiga jenis biochar yang diberikan pada tanah litosol menghasilkan bobot isi tanah yang sama. Jika masing-masing jenis biochar dikombinasi dengan pupuk organik maka bobot isi tanah lebih rendah daripada jika hanya menggunakan biochar tunggal. Penurunan bobot isi tanah litosol dari perlakuan kombinasi biochar dan pupuk organik lebih besar daripada hanya menerapkan biochar, berturut-turut 16% dan 7%.

Bobot isi tanah mediteran menunjukkan nilai yang sama dari perlakuan biochar tongkol, kombinasi biochar sekam dan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar jengkok dan kompos, dan pupuk kandang ayam. Perlakuan yang diberikan menurunkan bobot isi tanah sebesar 17 - 26% pada tanah mediteran.

Tabel 3. Bobot isi tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Bobot Isi Tanah (g cm^{-3})								
	Regosol		Litosol		Mediteran				
Kontrol	1.015	± 0.022	c	0.832	± 0.011	c	0.924	± 0.074	e
S	0.923	± 0.016	a	0.772	± 0.026	b	0.735	± 0.107	bc
T	0.962	± 0.037	ab	0.778	± 0.016	b	0.687	± 0.028	a
J	0.966	± 0.017	abc	0.767	± 0.005	b	0.808	± 0.023	d
SA	0.955	± 0.038	ab	0.699	± 0.026	a	0.697	± 0.026	a
SK	1.001	± 0.006	b	0.711	± 0.008	a	0.771	± 0.040	c
TA	1.013	± 0.046	c	0.689	± 0.022	a	0.710	± 0.034	ab
TK	0.972	± 0.017	abc	0.726	± 0.007	ab	0.790	± 0.010	c
JA	0.999	± 0.043	bc	0.720	± 0.010	ab	0.760	± 0.030	c
JK	0.960	± 0.053	ab	0.677	± 0.010	a	0.682	± 0.004	a
A	1.016	± 0.025	c	0.711	± 0.005	a	0.679	± 0.002	a
K	0.960	± 0.009	ab	0.823	± 0.041	c	0.771	± 0.039	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Bobot Partikel Tanah

Semua perlakuan belum cukup signifikan menurunkan bobot partikel tanah regosol. Bobot partikel tanah regosol meningkat dengan kombinasi biochar tongkol dan pupuk kandang ayam maupun kombinasi biochar jengkok dengan pupuk organik (kompos ataupun pupuk kandang ayam). Bobot partikel tanah litosol tertinggi jika pupuk kandang ayam dikombinasi dengan biochar tongkol jagung ataupun dengan biochar jengkok. Demikian pula pada tanah mediteran, bobot partikel tertinggi pada perlakuan kombinasi biochar jengkok dengan pupuk kandang ayam.

Tanah bertekstur kasar mempunyai kemampuan memegang air yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah yang bertekstur halus. Kadar bahan organik dalam tanah mempengaruhi agregasi tanah yang selanjutnya akan mempengaruhi bobot partikel, bobot isi, dan ruang pori di dalam tanah.

Porositas tanah

Hampir semua perlakuan yang diterapkan pada penelitian ini tidak menurunkan porositas tanah regosol, bahkan terjadi kenaikan dengan biochar sekam padi. Porositas tanah regosol meningkat 8% dari 57% (kontrol) menjadi 62% (biochar sekam padi). Porositas meningkat setelah diberi perlakuan pada tanah litosol maupun mediteran. Perlakuan terbaik untuk meningkatkan porositas tanah liat berasal dari kombinasi jenis biochar dan pupuk organik. Kombinasi biochar tongkol meningkatkan porositas tanah litosol sebesar 14% sedangkan kombinasi biochar jengkok dan kompos meningkatkan porositas tanah mediteran sebesar 21%. Menurut Asai *et al.* (2009), biochar memiliki porositas total yang tinggi dan dapat menyimpan air di pori-pori dan dengan demikian mempertahankan keseimbangan air mengakibatkan ketersediaan nutrisi yang lebih baik. Jenis biochar dan pupuk organik memberi respon yang berbeda pada tanah bertekstur liat karena masing-masing tanah mengandung pasir, debu, liat dan C organik yang berbeda (Tabel 1). Demikian pula karena perbedaan karakteristik biochar dan pupuk organik (Tabel 2). Ammu and Anitha (2015) menyatakan porositas tertinggi dari biochar pertumbuhan kayu liar mengakibatkan kapasitas pegang air secara signifikan lebih tinggi.

Pori makro menunjukkan pori drainase cepat. Penurunan pori makro sejalan dengan penurunan porositas pada tanah regosol. Perlakuan pupuk kandang ayam terbaik dalam menurunkan pori makro pada tanah berpasir, sebesar 21,4% dari 37,3% menjadi 29,3%. Semua ukuran pertikel pupuk kandang ayam terendah dibanding ketiga jenis biochar maupun kompos (Tabel 2) yang mungkin lebih cocok untuk menurunkan pori makro pada tanah dengan kadar pasir tertinggi. Penurunan pori makro sangat penting pada tanah berpasir supaya pori meso ataupun pori mikro meningkat sehingga kapasitas pegang air meningkat dan lebih banyak air yang bisa dimanfaatkan.

Tabel 4. Bobot partikel tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Bobot Partikel Tanah (g cm ⁻³)											
	Regosol			Litosol			Mediteran					
Kontrol	2.367	±	0.006	ab	2.306	±	0.061	bc	2.230	±	0.026	ab
S	2.405	±	0.056	bc	2.259	±	0.033	ab	2.169	±	0.016	a
T	2.322	±	0.064	ab	2.412	±	0.022	c	2.211	±	0.009	ab
J	2.294	±	0.012	a	2.313	±	0.035	bc	2.148	±	0.009	a
SA	2.362	±	0.070	abc	2.349	±	0.014	c	2.393	±	0.002	c
SK	2.283	±	0.021	abc	2.194	±	0.006	a	2.281	±	0.018	b
TA	2.414	±	0.029	c	2.541	±	0.016	d	2.252	±	0.008	b
TK	2.324	±	0.022	abc	2.364	±	0.120	c	2.271	±	0.033	b
JA	2.425	±	0.022	c	2.503	±	0.046	d	2.574	±	0.012	d
JK	2.445	±	0.147	c	2.376	±	0.127	c	2.365	±	0.023	c
A	2.397	±	0.006	bc	2.294	±	0.077	bc	2.304	±	0.019	b
K	2.321	±	0.022	ab	2.372	±	0.032	c	2.330	±	0.036	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Sebaliknya pada tanah liat, semua perlakuan meningkatkan pori makro pada tanah mediteran. Kenaikan pori makro tertinggi sebesar 179% dari 13% menjadi 36% dari kombinasi biochar jengkok dan kompos pada mediteran. Akan tetapi tidak semua jenis biochar maupun kombinasinya dengan pupuk organik dapat meningkatkan pori makro pada tanah litosol. Biochar sekam dan tongkol memberi pengaruh yang sama untuk meningkatkan pori makro pada tanah litosol. Penggunaan biochar jengkok yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam menunjukkan pori makro yang lebih baik daripada biochar jengkok yang digunakan secara tunggal. Penggunaan pupuk kandang ayam yang dikombinasi

dengan biochar sekam maupun biochar tongkol menghasilkan pori makro yang lebih tinggi daripada perlakuan tunggal pada tanah litosol. Kenaikan pori makro sebesar 28% dari 32% menjadi 45% dari kombinasi pupuk kandang ayam dengan biochar sekam maupun kombinasinya dengan biochar tongkol. Persentase pori makro yang meningkat pada tanah liat bermanfaat untuk aerase sehingga tanah tidak kelebihan air yang berdampak pada pernafasan akar tanaman terhambat.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi tanah dengan persentase pori makro pada ketiga jenis tanah dengan nilai $r = -0,807$ (regosol); $r = -0,454$ (litosol); $r = -0,873$ (mediteran). Semakin tinggi bobot isi tanah semakin rendah persentase pori makro, dengan nilai R^2 sebesar 0,65 (regosol); 0,21 (litosol) dan 0,76 (mediteran).

Tabel 5. Porositas tanah pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Porositas Tanah (%)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	57.117	± 0.996	ab	63.924	± 1.329	a	58.582	± 2.842	a
S	61.598	± 0.310	d	65.816	± 1.049	ab	66.088	± 5.196	cd
T	58.536	± 2.709	ab	67.764	± 0.957	bc	68.911	± 1.204	d
J	57.874	± 0.922	ab	66.813	± 0.664	abc	62.372	± 1.232	b
SA	59.524	± 2.779	bc	70.243	± 1.172	d	70.872	± 1.086	de
SK	56.149	± 0.189	ab	67.580	± 0.329	bcd	66.180	± 1.987	cd
TA	58.042	± 1.515	ab	72.884	± 1.025	e	68.471	± 1.554	de
TK	58.190	± 0.356	ab	69.220	± 1.808	cd	65.197	± 0.952	c
JA	58.803	± 2.138	bc	69.239	± 0.113	cd	70.476	± 1.304	de
JK	60.555	± 4.501	cd	71.448	± 1.131	de	71.157	± 0.462	e
A	55.117	± 0.907	a	68.971	± 1.282	cd	70.541	± 0.292	de
K	58.628	± 0.527	bc	65.313	± 1.385	ab	66.907	± 2.193	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tabel 6. Persentase pori makro pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori Makro (%)		
	Regosol	Litosol	Mediteran
Kontrol	37.345 ± 5.501 b	32.359 ± 1.744 a	13.010 ± 2.580 a
S	38.556 ± 0.483 b	36.476 ± 0.862 b	27.512 ± 1.875 cd
T	35.616 ± 3.107 ab	36.932 ± 2.576 b	33.022 ± 3.434 d
J	35.159 ± 1.040 ab	26.334 ± 1.402 a	18.818 ± 2.159 ab
SA	37.533 ± 3.865 b	45.128 ± 4.873 c	34.881 ± 1.972 de
SK	31.980 ± 0.376 ab	27.799 ± 3.359 a	24.489 ± 3.178 b
TA	31.888 ± 4.780 ab	44.794 ± 1.791 c	31.480 ± 3.542 de
TK	35.050 ± 0.118 ab	37.015 ± 4.763 b	22.987 ± 1.610 bc
JA	35.031 ± 3.122 ab	35.407 ± 3.623 b	28.991 ± 3.880 cd
JK	37.935 ± 5.449 b	40.087 ± 2.287 bc	36.339 ± 2.036 e
A	29.386 ± 0.686 a	37.130 ± 3.047 b	28.210 ± 1.305 cd
K	35.617 ± 0.741 ab	31.869 ± 3.237 a	28.347 ± 4.630 cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pori meso menunjukkan pori air tersedia bagi tanaman. Pori meso meningkat 28% dari 9,6% (kontrol) menjadi 13,4% (biochar dan pupuk organik) pada tanah berpasir. Purakayastha *et al.* (2013) melaporkan kapasitas air dari biochar gandum tertinggi (561%) diikuti oleh biochar jagung (456%). Lebih lanjut disampaikan bahwa peningkatan porositas mengakibatkan tiga kali lipat peningkatan luas permukaan yang menyebabkan peningkatan kapasitas memegang air dari biochar.

Jenis biochar dan pupuk organik yang digunakan secara campuran maupun tunggal memberi pengaruh yang sama pada peningkatan pori meso tanah berpasir. Hasil penelitian ini sejalan dengan Atkinson *et al.*, 2010; Sutono dan Nurida 2012; dan Suwardji *et al.*, 2012 yang melaporkan biochar efektif memperbaiki retensi air tanah pada tanah berpasir. Peningkatan kapasitas air tersedia sebesar 16% dengan penambahan biochar kotoran sapi (Sukartono dan Utomo (2012). Distribusi ukuran partikel mencerminkan pori-pori, biochar memiliki pori-pori lebih tinggi daripada pupuk organik yang bermanfaat untuk meningkatkan luas permukaan tanah pada tekstur pasir berlempung. Disamping itu bahan organik sebagai granulator yang mempengaruhi pembentukan agregat tanah dan menjadikan struktur remah. Bahan organik mampu meningkatkan jumlah air yang dapat

ditahan di dalam tanah.

Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% (kontrol) menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada tanah mediteran. Selanjutnya pori meso juga menurun dengan kombinasi pupuk kandang ayam dan biochar sekam maupun biochar tongkol tetapi tidak mengalami penurunan jika dikombinasi dengan kompos pada mediteran. Penggunaan biochar sekam dan tongkol secara tunggal lebih baik dalam menurunkan pori meso daripada jika dikombinasikan dengan pupuk kandang. Biochar jengkok yang digunakan secara tunggal maupun yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam tidak menurunkan pori meso, tetapi akan menurun jika dikombinasi dengan kompos pada mediteran.

Pengaruh penggunaan biochar jengkok pada pori meso tanah mediteran berbeda dengan tanah litosol meskipun kedua jenis tanah memiliki tekstur liat. Karbon organik tanah litosol dua kali lebih besar daripada tanah mediteran, kadar liat dan pori meso tanah litosol lebih rendah dari mediteran (Tabel 1). Biochar jengkok dapat menurunkan pori meso sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0% pada tanah litosol. Sedangkan pada tanah mediteran tidak menunjukkan penurunan pori meso. Biochar jengkok memiliki kapasitas memegang air lebih rendah (143,7%), ukuran partikel (0,044 mm dan 0,25 mm) lebih rendah; dan ukuran partikel (0,595 dan 1 mm) lebih tinggi dibanding biochar lainnya. Namun perlakuan lainnya tidak menunjukkan penurunan pori meso pada tanah litosol.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi dengan persentase pori meso dengan nilai $r = 0,371$ (regosol) dan $r = 0,578$ (mediteran), sedangkan pada litosol tidak menunjukkan korelasi yang nyata. Nilai R^2 sebesar 0,14 (regosol) dan 0,33 (mediteran).

Tabel 7. Persentase pori meso pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori Meso (%)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	9.614	± 4.262	a	11.456	± 1.166	bc	17.422	± 2.663	c
S	13.834	± 0.228	b	11.063	± 1.207	bc	8.783	± 5.935	a
T	12.328	± 0.738	ab	13.072	± 1.865	bc	11.718	± 2.943	a
J	12.791	± 0.199	ab	5.038	± 6.068	a	18.123	± 2.230	c
SA	12.231	± 0.979	ab	11.785	± 1.180	bc	12.787	± 1.453	b
SK	13.124	± 0.205	b	12.001	± 6.130	bc	18.256	± 0.905	c
TA	13.915	± 1.855	b	13.439	± 0.463	bc	12.065	± 2.540	b
TK	12.387	± 0.375	ab	11.498	± 2.040	bc	17.272	± 0.648	c
JA	13.838	± 1.016	b	12.855	± 1.720	bc	18.182	± 0.769	c
JK	12.866	± 1.029	ab	14.401	± 1.195	c	13.586	± 1.424	b
A	15.869	± 0.523	b	13.964	± 2.848	bc	15.748	± 0.248	bc
K	14.198	± 0.280	b	10.844	± 1.989	b	12.999	± 2.613	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Pori mikro merupakan pori drainase lambat yang menentukan kemampuan tanah memegang air. Pemberian jenis biochar dan pupuk organik belum berpengaruh terhadap peningkatan persentase pori mikro bahkan ada penurunan pori mikro dari perlakuan biochar sekam pada tanah berpasir.

Pada tanah mediteran, semua perlakuan dapat menurunkan pori mikro kecuali biochar sekam. Kombinasi biochar jengkok dan kompos maupun yang hanya menggunakan pupuk kandang ayam menurunkan pori mikro sebesar 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1% pada tanah mediteran. Perlakuan lainnya juga menurunkan pori mikro sebesar 14,9% dari 28,3% menjadi 24,1% pada tanah mediteran. Penurunan persentase pori mikro pada tanah mediteran bermanfaat untuk mengurangi kadar air yang berlebih yang mengganggu aerasi tanah. Penambahan bahan organik berperan untuk agregasi tanah liat sehingga sirkulasi udara berjalan lebih baik.

Penggunaan jenis biochar dapat meningkatkan dan menurunkan pori mikro pada tanah litosol. Biochar sekam dan tongkol menurunkan pori mikro sebesar 11,9% dari 20,2% menjadi 17,8% pada litosol, tetapi biochar jengkok meningkatkan pori mikro sebesar 22,9% dari 20,2% menjadi 26,2% pada tanah litosol. Biochar jengkok memiliki kapasitas pegang air dan ukuran partikel (0,044

mm dan 0,250 mm) yang terendah dan ukuran partikel (0,595 mm dan 1 mm) yang tertinggi dibandingkan jenis biochar lainnya. Ketiga jenis biochar yang dikombinasi dengan pupuk kandang ayam dapat menurunkan pori mikro, tetapi tidak demikian jika dikombinasi dengan kompos pada tanah litosol.

Penurunan pori mikro pada tanah liat berimplikasi pada berkurangnya air berlebih yang menghalangi sirkulasi udara sehingga membatasi kebutuhan oksigen bagi akar tanaman yang berakibat pada kematian tanaman.

Ada korelasi yang nyata antara bobot isi tanah berliat dengan persentase pori mikro dengan nilai $r = 0,557$ (litosol) dan $r = 0,536$ (mediteran). Nilai R^2 sebesar 0,29 (mediteran) dan 0,31 (litosol) tetapi pada tanah pasir korelasi tidak nyata.

Tabel 8. Persentase pori mikro pada masing-masing jenis tanah

Perlakuan	Pori mikro (%)		
	Regosol	Litosol	Mediteran
Kontrol	10.171 ± 0.297 bc	20.229 ± 0.686 d	28.323 ± 0.587 e
S	8.933 ± 0.116 a	17.745 ± 0.441 c	29.827 ± 0.756 f
T	10.802 ± 0.343 bc	17.836 ± 0.284 c	24.198 ± 0.723 bc
J	9.982 ± 0.031 b	26.192 ± 0.731 f	25.167 ± 1.259 d
SA	9.929 ± 0.123 b	14.911 ± 1.136 a	23.300 ± 0.608 b
SK	10.934 ± 0.114 bc	21.102 ± 0.176 e	23.310 ± 0.598 b
TA	11.002 ± 0.004 c	14.670 ± 0.571 a	24.731 ± 0.466 cd
TK	10.773 ± 0.392 bc	19.226 ± 0.689 d	24.820 ± 0.312 cd
JA	9.984 ± 0.027 bc	18.844 ± 0.270 d	23.122 ± 2.186 b
JK	9.951 ± 0.084 b	14.817 ± 0.316 a	21.129 ± 0.224 a
A	9.862 ± 0.240 b	15.759 ± 0.672 b	21.047 ± 0.082 a
K	9.023 ± 0.040 b	21.761 ± 0.413 e	25.864 ± 0.236 d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

5.4. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kandungan bahan organik tanah pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Setelah penambahan biochar dan pupuk organik ke tanah, variasi karakteristik biochar dan pupuk organik dapat menyebabkan pengaruh yang bervariasi pada bahan organik tanah maupun jenis tanah. Bahan organik tanah regosol, litosol, dan mediteran setelah perlakuan disajikan pada Tabel 8-12. Perlakuan berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah pada hari

ke-7 sampai ke-98. Jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada jenis tanah berpengaruh signifikan terhadap bahan organik tanah. Biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah berpengaruh secara signifikan terhadap bahan organik tanah (nilai signifikan $< \alpha(=0.05)$).

Perubahan karbon organik akan mempengaruhi kesuburan tanah. Penggunaan biochar dan pupuk organik meningkatkan bahan organik tanah sejak hari ke-7 sampai hari ke-98 pada tiga jenis tanah. Kadar bahan organik tanah sangat bervariasi naik dan turun di setiap hari pengamatan (Gambar 2-4). Bahan organik tanah dari perlakuan biochar lebih tinggi daripada pupuk organik. Biochar jengkok tembakau yang dicampur dengan kompos meningkatkan bahan organik tanah litosol pada 7-14 hari setelah inkubasi tetapi biochar tongkol jagung yang dicampur kompos meningkatkan bahan organik tanah regosol pada hari ke-98. Biochar adalah arang yang dibuat dengan tujuan untuk diaplikasikan pada tanah. Biochar sering diklaim memiliki beberapa manfaat potensial, termasuk penyerapan karbon (Laird, 2008).

Setiap jenis tanah menunjukkan kadar bahan organik tanah yang berbeda meskipun dengan perlakuan yang sama. Bahan organik tanah litosol lebih tinggi daripada mediteran pada semua pengamatan meskipun kedua tanah memiliki tekstur yang sama (liat). Hal ini berhubungan dengan bahan organik tanah awal dari litosol (1,36%) lebih besar dari mediteran (0,72%). Bahan organik tanah litosol yang tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau yang tidak berbeda dengan biochar jengkok tembakau yang dicampur dengan kompos maupun pupuk kandang kotoran ayam. Bahan organik tanah tertinggi sebesar 3,56 – 3,98% (litosol); 1,3 – 2,1% (mediteran); dan 0,97 - 1,85% (regosol) (Tabel 8). Penggunaan berbagai jenis biochar dan pupuk organik belum menunjukkan perbedaan yang mencolok pada bahan organik tanah regosol pada hari ke-7 tetapi tidak demikian pada hari ke-14. Hal ini menunjukkan kenaikan bahan organik tanah regosol secara tajam dimulai pada hari ke-14 (0,94 – 2,5%). Namun bahan organik tanah mediteran dari perlakuan campuran biochar dan pupuk organik cenderung lebih baik daripada hanya diberi biochar saja pada hari ke-7 (Tabel 8).

Tabel 9. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-7

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.758	±0.067	a	1.590	±0.018	a	1.127	±0.000	a
S	1.119	±0.001	ab	1.891	±0.065	ab	1.334	±0.307	ab
T	1.415	±0.282	ab	3.169	±0.470	ef	1.631	±0.148	abc
J	1.849	±0.269	b	3.981	±0.494	g	1.581	±0.161	abc
SA	1.476	±0.005	ab	2.596	±0.139	cd	1.945	±0.144	c
SK	0.974	±0.141	ab	2.245	±0.276	bcd	1.673	±0.278	abc
TA	1.469	±0.133	ab	2.654	±0.141	d	1.723	±0.492	bc
TK	1.800	±0.000	b	2.099	±0.419	bc	1.938	±0.141	c
JA	1.690	±0.281	b	3.780	±0.370	g	2.099	±0.556	c
JK	1.693	±0.154	b	3.559	±0.639	fg	2.109	±0.365	c
A	1.414	±0.281	ab	2.684	±0.162	de	2.021	±0.162	c
K	1.400	±0.311	ab	2.436	±0.570	cd	1.612	±0.321	abc

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis biochar dan pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. ** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Setelah hari-14, bahan organik tanah tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau (regosol), biochar tongkol jagung yang tidak berbeda dengan campuran biochar jengkok tembakau dan kompos (litosol), serta biochar jengkok tembakau yang tidak berbeda dengan biochar tongkol jagung (mediteran). Telah dilaporkan bahwa biochar meningkatkan persentase karbon organik dalam berbagai tanah tetapi sifat yang tepat dari komponen ini masih belum dipahami dengan baik (Zimmerman, 2010). Total karbon dari tongkol jagung dan jengkok tembakau, berturut-turut 46% dan 40% yang lebih tinggi dari perlakuan lainnya. Tingginya kadar akumulasi karbon organik tanah karena amendemen biochar dapat meningkatkan efisiensi N dan meningkatkan produktivitas tanaman (Pan *et al.*, 2009).

Tabel 10. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-14

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.724	±0.068	a	1.598	±0.011	a	1.057	±0.069	a
S	1.303	±0.087	e	2.348	±0.209	b	1.879	±0.055	c
T	1.505	±0.138	f	4.467	±0.150	e	3.433	±0.037	g
J	2.486	±0.173	i	3.988	±0.031	d	3.404	±0.078	g
SA	1.032	±0.022	bc	2.245	±0.136	b	1.685	±0.024	b
SK	1.085	±0.037	cd	2.775	±0.158	c	1.656	±0.060	b
TA	1.201	±0.042	de	2.728	±0.025	c	2.588	±0.345	f
TK	1.823	±0.040	g	3.010	±0.090	d	1.926	±0.010	cd
JA	1.638	±0.075	f	2.889	±0.032	c	2.236	±0.051	e
JK	1.906	±0.140	h	4.647	±0.061	e	2.583	±0.010	f
A	1.299	±0.051	e	2.267	±0.036	b	2.099	±0.026	d
K	0.940	±0.044	b	3.130	±0.157	c	1.793	±0.025	bc

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Bahan organik tanah tertinggi dari perlakuan biochar jengkok tembakau (regosol dan mediteran) serta biochar tongkol jagung (litosol) pada hari ke-28 (Tabel 5) dan ke-56 (Tabel 11). Kemungkinan pengaruh dari rasio C/N dan pH pada dekomposisi bahan organik. Rasio C/N pada kedua tanah sama (7) sedangkan pH tanah regosol (5,5) dan mediteran (5,3) cenderung masam sehingga perlakuan biochar jengkok tertinggi untuk meningkatkan bahan organik pada kedua jenis tanah (regosol dan mediteran). Kandungan liat pada tanah litosol lebih rendah daripada mediteran. Kemampuan tanah menahan air terletak pada kandungan liat. Kapasitas pegang air dari biochar tongkol jagung (249,6%) lebih tinggi daripada biochar jengkok (143,7%). Peningkatan kapasitas menahan air dari biochar dapat meningkatkan kapasitas tanah menahan air sehingga biochar dapat mempertahankan air dalam tanah litosol sehingga reaktivitasnya meningkat, baik mikroba untuk memperbanyak diri dan untuk berbagai unsur dan senyawa lainnya serta kelembaban tanah untuk laju dekomposisi.

Tabel 11. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-28

Perlakuan	Regosol	Litosol	Mediteran
Kontrol	0.859 ±0.026 a	1.598 ±0.011 a	1.202 ±0.075 a
S	1.267 ±0.199 bc	2.624 ±0.030 d	1.990 ±0.031 c
T	1.966 ±0.020 e	5.004 ±0.088 i	2.870 ±0.062 f
J	3.042 ±0.040 f	4.143 ±0.029 h	3.368 ±0.021 g
SA	1.187 ±0.052 bc	2.724 ±0.045 de	1.539 ±0.035 b
SK	1.142 ±0.087 b	2.913 ±0.009 f	1.380 ±0.222 b
TA	1.509 ±0.068 d	3.247 ±0.066 b	1.528 ±0.020 b
TK	1.650 ±0.513 d	2.854 ±0.045 ef	1.995 ±0.038 c
JA	1.906 ±0.027 e	2.448 ±0.037 c	2.232 ±0.017 d
JK	1.888 ±0.010 e	3.532 ±0.027 g	2.453 ±0.023 e
A	1.332 ±0.034 c	2.241 ±0.023 b	1.949 ±0.026 c
K	1.228 ±0.050 bc	2.654 ±0.240 d	1.960 ±0.020 c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. ** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tabel 12 menunjukkan bahan organik tanah tertinggi pada campuran biochar tongkol jagung dan kompos (regosol), biochar jengkok tembakau (litosol), dan biochar tongkol jagung yang tidak berbeda nyata dengan biochar jengkok tembakau (mediteran) pada akhir pengamatan (hari ke-98). Bahan organik tanah litosol dari perlakuan biochar sekam padi meningkat dari 2,5% menjadi 2,8 – 2,9% jika biochar sekam dicampur pupuk organik (pupuk kandang kotoran ayam maupun kompos).

Pengamatan hari ke-98 menunjukkan bahan organik tanah regosol yang meningkat 2 - 2,4 kali jika biochar tongkol jagung dicampur pupuk organik (kompos ataupun pupuk kandang kotoran ayam). Sebaliknya bahan organik tanah litosol maupun mediteran menurun 1,3 – 1,5 kali jika biochar tongkol dicampur pupuk organik. Demikian pula bahan organik tanah litosol dan mediteran menurun sebesar 1,1 - 1,4 kali jika biochar jengkok tembakau digunakan bersama pupuk organik.

Tabel 12. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-56

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.871	±0.024	a	1.598	±0.011	a	1.057	±0.069	a
S	1.052	±0.030	bc	2.366	±0.036	c	1.782	±0.017	d
T	1.580	±0.020	e	4.523	±0.340	g	2.240	±0.026	e
J	2.792	±0.043	g	3.807	±0.017	f	3.083	±0.057	g
SA	0.937	±0.014	ab	1.794	±0.036	b	1.593	±0.065	d
SK	1.266	±0.013	cd	1.870	±0.018	b	1.298	±0.085	b
TA	1.097	±0.026	bc	1.990	±0.045	b	1.121	±0.041	a
TK	1.247	±0.016	d	2.520	±0.098	c	1.674	±0.087	d
JA	3.252	±0.052	h	3.252	±0.052	e	2.647	±0.096	e
JK	2.044	±0.014	f	3.291	±0.101	e	2.476	±0.014	f
A	1.110	±0.013	cd	3.021	±0.112	d	1.634	±0.030	d
K	1.100	±0.021	cd	2.922	±0.060	d	1.410	±0.026	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Dinamika kadar bahan organik dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar bahan organik pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 2-4. Perubahan kadar bahan organik meningkat, menurun, ataupun tetap tidak terlepas dari proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum kadar bahan organik cenderung tetap, naik atau turun pada masing-masing pengamatan tergantung aplikasi biochar-pupuk organik maupun jenis tanah.

Biochar jengkok tembakau yang diterapkan pada regosol menunjukkan bahan organik tertinggi sampai hari ke-28 dan akan semakin meningkat jika dicampur dengan pupuk kandang kotoran ayam pada hari ke-56, selanjutnya menurun sampai hari ke-98 (Gambar 2). Bahan organik tanah litosol cenderung terus meningkat tajam hingga hari ke-28 dari perlakuan biochar tongkol jagung, selanjutnya semakin menurun sampai hari ke-98. Tidak demikian jika menggunakan biochar jengkok tembakau. Bahan organik tanah litosol tidak mengalami lonjakan tajam naik maupun turun dari waktu ke waktu dari perlakuan biochar jengkok tembakau. Berbeda jika biochar jengkok tembakau dicampur dengan kompos, bahan organik tanah litosol mengalami kenaikan dan penurunan pada hari ke-14 sampai hari ke- 28, selanjutnya relatif sama hingga hari ke-98

(Gambar 3). Biochar dapat mengubah sifat fisik tanah seperti struktur, distribusi ukuran pori dan kepadatan, dengan implikasi untuk aerasi tanah, kapasitas memegang air, pertumbuhan tanaman, dan pengolahan tanah (Downie *et al.*, 2009). Bukti menunjukkan bahwa aplikasi biochar ke dalam tanah dapat meningkatkan luas permukaan tanah secara keseluruhan (Chan *et al.*, 2007) dan akibatnya dapat meningkatkan air tanah dan retensi hara (Downie *et al.*, 2009) dan aerasi tanah terutama di tanah bertekstur halus (Kolb, 2007).

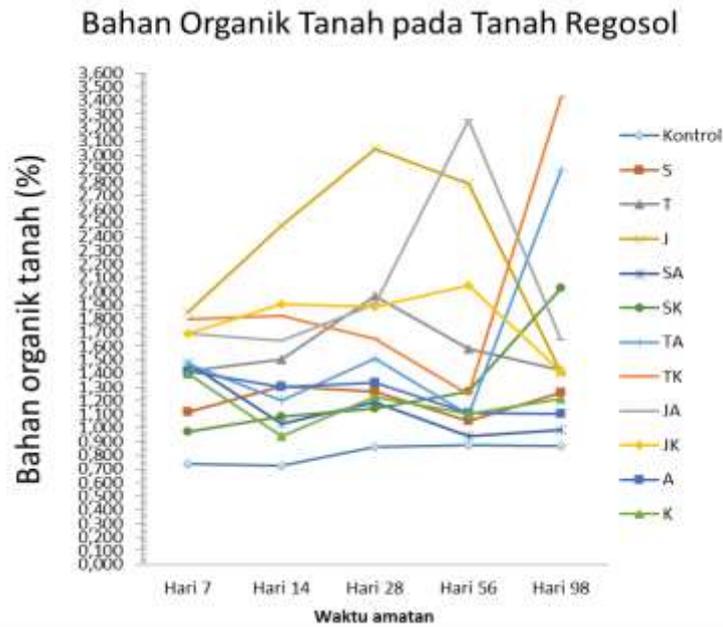
Tabel 13. Bahan organik tanah pada masing-masing jenis tanah setelah inkubasi hari ke-98

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.865	±0.062	a	1.655	±0.203	a	1.094	±0.148	a
S	1.260	±0.087	cd	2.491	±0.035	b	1.754	±0.039	bc
T	1.426	±0.105	de	3.270	±0.017	d	2.553	±0.053	g
J	1.405	±0.027	de	4.037	±0.608	e	2.641	±0.082	g
SA	0.983	±0.050	ab	2.752	±0.018	c	2.189	±0.039	e
SK	2.024	±0.063	f	2.874	±0.047	c	1.847	±0.049	cd
TA	2.890	±0.090	g	2.625	±0.027	b	1.689	±0.043	bc
TK	3.424	±0.037	h	2.330	±0.044	b	2.001	±0.044	e
JA	1.647	±0.108	e	3.437	±0.027	d	2.482	±0.054	f
JK	1.414	±0.025	d	3.448	±0.020	d	1.920	±0.200	d
A	1.105	±0.018	b	2.594	±0.017	b	1.509	±0.035	b
K	1.217	±0.036	c	2.933	±0.033	c	1.870	±0.203	c

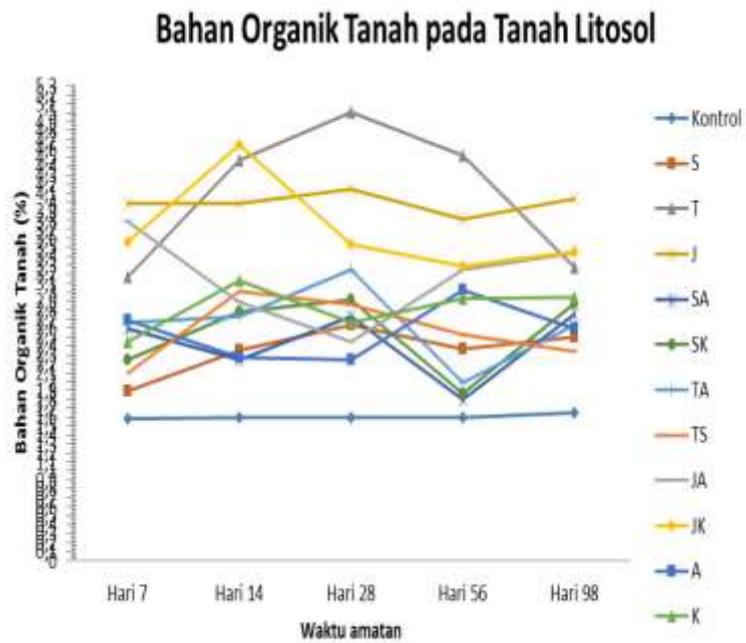
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

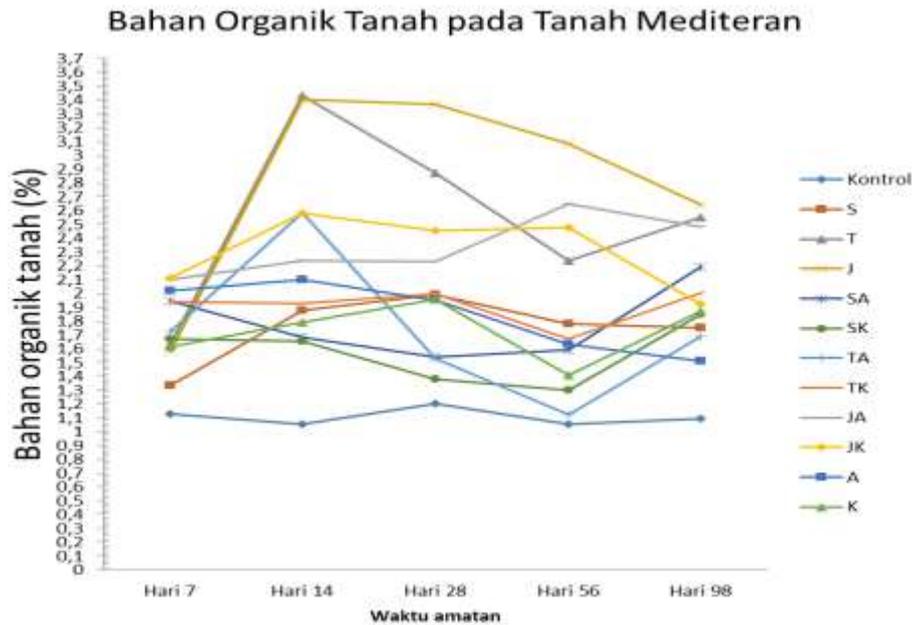
Bahan organik tanah mediteran lebih tinggi pada perlakuan biochar jengkok tembakau dibandingkan perlakuan lainnya sampai hari ke-98. Bahan organik tanah litosol meningkat hingga hari ke-14, selanjutnya menurun terus hingga hari ke-98 (Gambar 4).



Gambar 2. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah regosol



Gambar 3. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah litosol



Gambar 4. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap bahan organik tanah mediteran.

5.5. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kapasitas Tukar Kation (KTK) pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan jumlah total ion dapat ditukar yang bermuatan positif (meq/100 g tanah). Sebuah KTK lebih tinggi menunjukkan kapasitas yang lebih tinggi dari tanah untuk menyerap dan menahan nutrisi dan karenanya ketersediaan hara menjadi lebih tinggi (Novak et al., 2009). Biochar diperkirakan meningkatkan KTK karena kemampuannya untuk meningkatkan kadar nutrisi dan ketersediaan hara dalam tanah (3). Banyak tanah lokal mengandung liat tinggi dan bahan organik, yang mengarah KTK > 30 meq / 100 g tanah. Tanah berpasir di dekat pantai yang rendah liat dan bahan organik <10 meq / 100 g tanah (11). Para peneliti telah menunjukkan bahwa biochar diproduksi pada suhu rendah memiliki kapasitas tukar kation tinggi, sementara yang dihasilkan pada suhu tinggi (lebih besar dari 600°C) telah membatasi atau tidak ada kapasitas tukar kation (Chan *et al.*, 2007; Lehmann, 2007a; Navia & Crowley, 2010). Temuan mereka menunjukkan bahwa biochar untuk modifikasi tanah seharusnya tidak diproduksi pada suhu tinggi. Selain itu, biochar baru diproduksi memiliki kapasitas tukar kation sedikit.

KTK merupakan sifat kimia yang berhubungan dengan kesuburan tanah. Tanah yang mengandung bahan organik atau liat tinggi memiliki KTK lebih tinggi daripada yang bahan organik rendah atau tanah berpasir (Hardjowigeno 2007). Nilai KTK tergantung pada karakteristik tanah. Menurut Hakim *et al.* (1986), KTK tanah dipengaruhi oleh pH, tekstur atau jumlah liat, jenis mineral liat, bahan organik, pengapuran dan pemupukan. Semakin halus tekstur tanah semakin tinggi KTK tanah. Proses penjerapan unsur hara oleh koloid tanah tidak berlangsung intensif pada KTK yang rendah dan akibatnya unsur-unsur hara mudah tercuci dan hilang melalui infiltrasi maupun perkolasi air ke dalam tanah sehingga hara tidak tersedia bagi tanaman. Hasil analisis KTK dengan nested design disajikan pada Tabel 13, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 14-18.

Tabel 13 menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha(=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap KTK tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 14-18.

Tabel 14. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 15. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-7

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	11.700	± 0.500	a	24.200	± 0.173	a	32.363	± 2.713	a
S	17.010	± 1.674	b	32.530	± 2.001	b	43.565	± 4.569	bc
T	18.763	± 2.202	b	33.872	± 0.000	b	41.584	± 1.097	bc
J	19.120	± 1.074	b	35.566	± 0.057	bc	47.979	± 2.759	cd
SA	16.286	± 2.179	ab	34.199	± 1.630	bc	52.165	± 0.029	d
SK	17.436	± 1.716	b	32.392	± 0.531	b	42.098	± 1.642	c
TA	18.619	± 1.602	b	35.651	± 2.842	b	44.767	± 1.966	c
TS	18.676	± 1.100	b	32.159	± 0.740	b	44.625	± 0.556	c
JA	17.790	± 1.680	b	37.532	± 2.226	c	49.283	± 1.104	d
JK	17.582	± 1.602	b	38.008	± 1.404	c	51.019	± 1.118	d
A	17.284	± 0.565	b	37.264	± 1.104	c	38.084	± 1.019	b
K	17.903	± 2.107	b	37.118	± 2.254	c	46.179	± 0.563	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Semua perlakuan dapat meningkatkan nilai KTK tanah pada 7 hari inkubasi. Kenaikan nilai KTK pada regosol relatif sama pada semua perlakuan (53%) tetapi pada tanah mediteran dan litosol tergantung perlakuan yang diberikan. Penggunaan pupuk organik secara tunggal maupun yang dikombinasi dengan biochar jengkok pada litosol dapat meningkatkan nilai KTK yang sama, sebesar 55%, sedangkan perlakuan lainnya meningkatkan nilai KTK sebesar 40%. Pada tanah mediteran, kenaikan nilai KTK lebih tinggi dari perlakuan biochar sekam+pupuk kandang ayam (63%) daripada perlakuan biochar+kompos (38%), tetapi kenaikan nilai KTK adalah sama antara perlakuan biochar tongkol jagung yang diaplikasi secara tunggal maupun yang digunakan bersama dengan pupuk kandang ayam ataupun kompos (35%). Perlakuan biochar jengkok secara tunggal tidak berbeda jika digunakan bersama pupuk organik, dengan kenaikan nilai KTK sebesar 53%. Kenaikan nilai KTK pada inkubasi 7 hari telah merubah status KTK tanah mediteran dari tinggi (25-40 c mol kg⁻¹) menjadi sangat tinggi (>40 c mol kg⁻¹) dengan semua perlakuan (Tabel 2). Hasil penelitian menunjukkan nilai KTK tanah mediteran berkurang pada inkubasi selanjutnya (14-98 hari) dengan status tinggi pada semua perlakuan (Tabel 3-6). Setelah inkubasi 14 hari, KTK tanah mediteran relatif tinggi (33-42 me/100 g⁻¹) diberi perlakuan dan kontrol.

Tabel 16. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-14

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 7 hari (me 100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	11.700	± 0.500	a	24.200	± 0.173	a	32.363	± 2.713	a
S	17.010	± 1.674	b	32.530	± 2.001	b	43.565	± 4.569	bc
T	18.763	± 2.202	b	33.872	± 0.000	b	41.584	± 1.097	bc
J	19.120	± 1.074	b	35.566	± 0.057	bc	47.979	± 2.759	cd
SA	16.286	± 2.179	ab	34.199	± 1.630	bc	52.165	± 0.029	d
SK	17.436	± 1.716	b	32.392	± 0.531	b	42.098	± 1.642	c
TA	18.619	± 1.602	b	35.651	± 2.842	b	44.767	± 1.966	c
TS	18.676	± 1.100	b	32.159	± 0.740	b	44.625	± 0.556	c
JA	17.790	± 1.680	b	37.532	± 2.226	c	49.283	± 1.104	d
JK	17.582	± 1.602	b	38.008	± 1.404	c	51.019	± 1.118	d
A	17.284	± 0.565	b	37.264	± 1.104	c	38.084	± 1.019	b
K	17.903	± 2.107	b	37.118	± 2.254	c	46.179	± 0.563	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Perlakuan memberikan variasi terhadap kenaikan nilai KTK pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-14. Nilai KTK regosol tergolong rendah (5-16 cmol kg⁻¹) tetapi perlakuan biochar jengkok dapat meningkatkan pada status sedang (17-24 cmol kg⁻¹). Pada litosol menunjukkan bahwa status nilai KTK yang sedang (kontrol) meningkat menjadi tinggi (perlakuan) sedangkan pada tanah mediteran menunjukkan relatif tidak ada perubahan status nilai KTK (kategori tinggi dengan KTK 25-40 cmol kg⁻¹).

Tabel 17. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-28

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 28 hari (me/100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	11.700	± 0.500	a	24.200	± 0.173	a	32.578	± 0.508	a
S	14.461	± 0.211	cd	29.133	± 0.024	b	33.989	± 0.312	b
T	15.517	± 0.320	de	31.487	± 0.110	d	36.876	± 0.158	e
J	14.768	± 0.145	cd	35.249	± 1.122	f	35.061	± 0.161	c
SA	14.814	± 0.105	d	31.480	± 0.302	d	34.388	± 0.290	bc
SK	13.077	± 0.009	b	28.540	± 0.202	b	33.599	± 0.051	b
TA	15.878	± 0.200	e	34.208	± 0.201	e	35.098	± 0.051	b
TS	14.183	± 0.106	cd	32.083	± 0.695	d	38.176	± 0.022	f
JA	15.785	± 0.061	e	35.608	± 0.447	f	34.753	± 0.208	c
JK	12.967	± 0.208	b	30.050	± 0.276	c	36.200	± 0.050	de
A	13.832	± 0.379	bc	35.937	± 0.143	fg	35.554	± 0.397	cd
K	15.152	± 0.933	de	36.518	± 0.164	g	36.055	± 0.038	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tingkat perubahan nilai KTK menunjukkan trend yang sama sejak inkubasi hari ke-7 hingga ke-98 pada regosol dan litosol. KTK dari ketiga jenis tanah, yaitu rendah (regosol) serta tinggi (litosol dan mediteran) pada inkubasi 28 hari. Inkubasi 28 hari, ketiga jenis biochar yang dicampur pupuk kandang ayam meningkatkan nilai KTK regosol dan litosol yang lebih baik daripada aplikasi biochar secara tunggal. Khususnya litosol, hal tersebut telah konsisten mulai inkubasi 14, 28, 56, dan 98 hari. Namun pada mediteran, nilai KTK sangat beragam tergantung perlakuan pada 28 hari tetapi hasil yang serupa terjadi pada 7-14 hari.

Pada akhir inkubasi (98 hari), pemberian biochar dan pupuk organik dapat meningkatkan nilai KTK sebesar hampir 2 kali pada regosol. Kenaikan nilai KTK regosol tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam yang tidak berbeda dengan biochar jengkok. Sementara itu ketiga jenis biochar maupun pupuk organik menunjukkan nilai KTK yang relatif sama pada regosol. Kombinasi perlakuan antara biochar dan pupuk organik menunjukkan nilai KTK tanah regosol yang lebih rendah dibandingkan penggunaan secara tunggal (kecuali biochar jengkok+pupuk kandang ayam). Pada 98 hari, nilai KTK dari perlakuan biochar lebih tinggi daripada perlakuan pupuk organik pada litosol. Penggunaan

kombinasi biochar dengan pupuk organik menghasilkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada aplikasi tunggal pada litosol.

Penggunaan bersama antara biochar dan pupuk organik menghasilkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada penggunaan secara tunggal pada tanah mediteran. Aplikasi kombinasi biochar sekam+pupuk kandang ayam lebih baik daripada penggunaan secara tunggal, kombinasi biochar tongkol+kompos lebih baik daripada aplikasi secara tunggal, kombinasi biochar jengkok+kompos tidak berbeda dengan kombinasi biochar jengkok+pupuk kandang ayam dan menunjukkan nilai KTK yang lebih tinggi daripada digunakan secara tunggal (Tabel 6).

Tabel 18. KTK masing-masing jenis tanah pada hari ke-56

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 56 hari (me/100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	11.700	0.500	a	24.200	0.173	a	31.464	0.306	a
S	13.333	0.231	b	26.567	0.115	b	33.133	0.058	c
T	16.800	0.100	e	30.700	0.656	e	37.786	0.021	h
J	14.287	0.203	c	31.394	0.212	f	36.108	0.023	g
SA	17.267	0.153	f	28.531	0.086	c	33.825	0.057	d
SK	16.533	0.252	e	28.838	0.114	c	34.138	0.030	e
TA	15.067	0.153	d	32.888	0.084	g	35.767	0.051	f
TS	17.333	0.208	f	30.094	0.020	d	33.288	0.020	c
JA	13.887	0.109	b	33.700	0.173	h	32.321	0.010	b
JK	13.342	0.235	b	30.734	0.075	e	35.825	0.113	f
A	17.500	0.300	f	32.851	0.048	g	34.095	0.015	e
K	11.931	0.073	a	30.715	0.058	e	33.667	0.052	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Dinamika KTK dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. KTK pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 5-7. Jenis tanah litosol menunjukkan KTK dengan tren yang relatif tetap dari waktu ke waktu dan semua perlakuan kontrol menunjukkan KTK yang terendah (Gambar 5). Berbeda dengan tanah mediteran, KTK tanah sedikit menurun pada 14 hari kemudian relatif sama hingga akhir pengamatan (Gambar 6). Perlakuan pada tanah bertekstur liat (litosol dan mediteran) menunjukkan perbedaan diantara

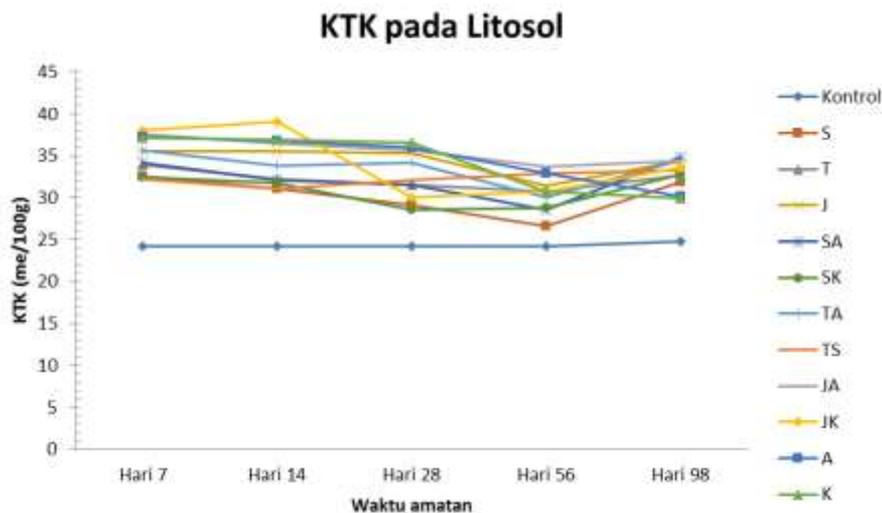
kedua jenis tanah hanya pada 14 hari. KTK mediteran menurun dari 7 ke 14 hari selanjutnya tren KTK relatif sama hingga 98 hari, tetapi pada litosol tidak ada perubahan nilai KTK. Tidak demikian dengan tanah berpasir (regosol) yang sedikit ada peningkatan nilai KTK pada 98 hari.

Tabel 19. Hasil uji DMRT pada masing-masing jenis tanah pada hari ke-98

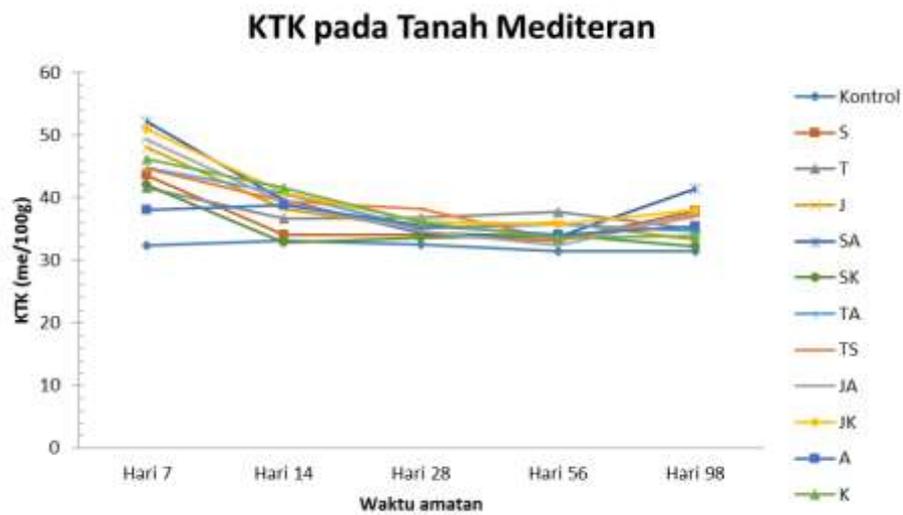
Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 98 hari (me/100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	8.733	0.473	a	24.733	0.513	a	31.464	0.306	a
S	17.691	1.252	de	31.897	0.145	c	37.945	0.156	ef
T	17.639	0.703	de	32.687	0.301	d	34.939	0.171	d
J	18.326	0.762	ef	34.367	0.666	f	33.358	0.587	c
SA	15.752	0.965	c	34.873	0.404	f	41.363	0.645	g
SK	15.604	0.420	c	32.728	0.169	d	32.206	0.700	b
TA	17.886	0.295	de	34.447	1.129	f	34.665	0.680	cd
TS	15.319	0.553	c	33.246	0.509	de	37.036	0.121	e
JA	17.255	0.844	d	34.332	0.495	f	37.445	0.493	ef
JK	13.098	0.200	b	33.633	0.451	e	38.000	0.100	f
A	18.900	0.755	f	30.125	0.263	b	35.376	0.552	d
K	17.295	0.355	d	29.960	0.918	b	33.856	0.950	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

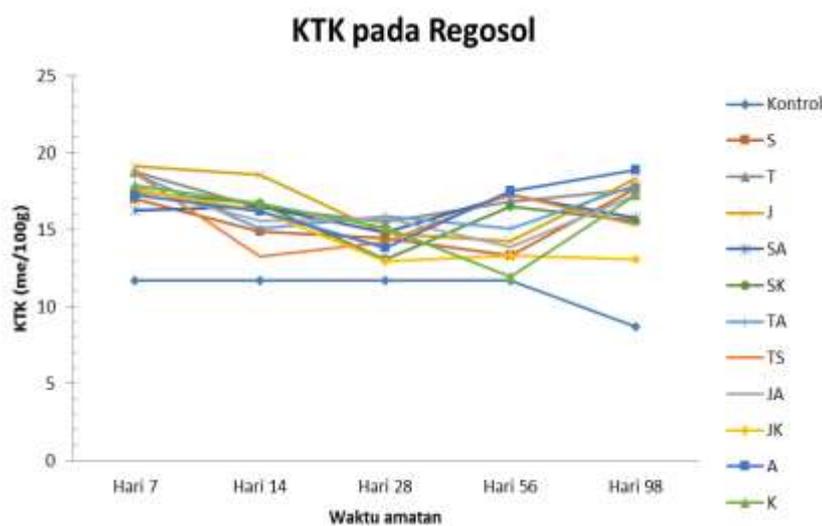
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 5. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah litosol



Gambar 6. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah mediteran



Gambar 7. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KTK tanah regosol

5.6. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Hasil analisis pH dengan nested design disajikan pada Tabel 19, sedangkan uji lanjut dengan DMRT pH tanah disajikan pada Tabel 20-24.

Tabel 20. Hasil analisis nested design pH tanah pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 19 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha(=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap pH tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 20-24.

Biochar dan pupuk organik yang digunakan secara tunggal maupun campuran memiliki efek menaikkan pH tanah. Meningkatkan pH tanah mungkin memberikan kontribusi yang paling penting untuk meningkatkan kualitas tanah. pH biochar dapat berkisar dari 4 sampai 12 tergantung pada bahan baku yang digunakan dan kondisi pirolisis (Bagreev *et al.*, 2001; Lehmann, 2007b). Selanjutnya, telah diamati bahwa pirolisis dapat meningkatkan pH dari bahan baku menjadi biochar seperti: pH biochar sekam 9,44 dan pH sekam padi 4,30; pH biochar tongkol jagung 9,46 sedangkan pH tongkol jagung 5,10; pH biochar jengkok 8,91 sedangkan pH jengkok 5,6. Pupuk kandang ayam mempunyai pH 6,0 dan kompos 7,3. Biochar yang digunakan pada penelitian ini mempunyai pH yang bersifat basa sedangkan pH pupuk organik cenderung netral. Basa adalah akseptor proton, yang mengurangi konsentrasi ion bermuatan positif di dalam tanah, yang menyebabkan pH di atas 7 (9). Menurut Hakim *et al.* (1986) faktor yang mempengaruhi pH antara lain : Kejenuhan basa, sifat misel (koloid), macam kation yang terjerap.

Hari 7

Secara umum menunjukkan bahwa pH tanah regosol dan litosol meningkat dengan aplikasi biochar dan pupuk organik pada 7 hari inkubasi (Tabel 20). Akan tetapi pH tanah mediteran belum meningkat dengan pemberian biochar tongkol maupun kompos.

Inkubasi 7 hari di regosol, perlakuan biochar sekam, biochar tongkol, pupuk kandang, dan kompos secara tunggal maupun campuran dapat meningkatkan nilai pH sebesar 0,3 unit dari 6,03 menjadi 6,34. Namun biochar jengkok terbaik dalam meningkatkan pH sebesar 0,7 unit dari 6,03 menjadi 6,70. Pada inkubasi 7 hari di litosol menunjukkan pH tertinggi pada perlakuan biochar tongkol dan jengkok, yaitu 0,4 unit dari 6,80 menjadi 7,22. Berbeda pada tanah mediteran, penggunaan pupuk kandang tunggal ataupun yang dicampur dengan biochar tongkol terbaik dalam meningkatkan pH sebesar 0,4 unit, dari 5,93 menjadi 6,35.

Tabel 21. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	KTK tanah pada inkubasi 98 hari (me/100 g ⁻¹)								
	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	8.733	0.473	a	24.733	0.513	a	31.464	0.306	a
S	17.691	1.252	de	31.897	0.145	c	37.945	0.156	ef
T	17.639	0.703	de	32.687	0.301	d	34.939	0.171	d
J	18.326	0.762	ef	34.367	0.666	f	33.358	0.587	c
SA	15.752	0.965	c	34.873	0.404	f	41.363	0.645	g
SK	15.604	0.420	c	32.728	0.169	d	32.206	0.700	b
TA	17.886	0.295	de	34.447	1.129	f	34.665	0.680	cd
TS	15.319	0.553	c	33.246	0.509	de	37.036	0.121	e
JA	17.255	0.844	d	34.332	0.495	f	37.445	0.493	ef
JK	13.098	0.200	b	33.633	0.451	e	38.000	0.100	f
A	18.900	0.755	f	30.125	0.263	b	35.376	0.552	d
K	17.295	0.355	d	29.960	0.918	b	33.856	0.950	c

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Sampai hari ke-14, semua perlakuan dapat meningkatkan pH di tiga jenis tanah (Tabel 21). Pada inkubasi 14 hari, kenaikan pH regosol terbaik dari beberapa perlakuan, yaitu biochar jengkok, campuran kompos dengan biochar jengkok

maupun tongkol serta pupuk kandang ayam. Kenaikan pH regosol sebesar 0,8 unit dari 6,0 menjadi 6,8. Perlakuan biochar jengkok yang dicampur kompos yang diterapkan pada litosol merupakan perlakuan terbaik dalam meningkatkan pH tanah (0,5 unit), dari 6,7 menjadi 7,2 sedangkan perlakuan lainnya sekitar 7,0. Hampir semua perlakuan dapat meningkatkan pH tanah mediteran sebesar 0,8 unit dari 5,77 menjadi 6,53.

Tabel 22. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.000	0.100	a	6.767	0.115	a	5.767	0.058	a
S	6.200	0.100	b	7.033	0.058	bc	6.533	0.058	d
T	6.600	0.100	d	7.067	0.058	cd	6.233	0.058	ab
J	6.867	0.058	e	7.067	0.058	cd	6.533	0.058	d
SA	6.200	0.100	b	7.033	0.058	bc	6.500	0.100	d
SK	6.367	0.153	c	7.033	0.058	bc	6.333	0.058	bc
TA	6.200	0.100	b	7.033	0.058	bc	6.533	0.058	d
TK	6.733	0.153	e	7.067	0.058	bc	6.233	0.058	ab
JA	6.567	0.115	d	7.067	0.058	cd	6.500	0.100	d
JK	6.833	0.058	e	7.200	0.100	d	6.433	0.058	cd
A	6.733	0.058	e	6.933	0.058	b	6.533	0.058	d
K	6.233	0.115	bc	6.867	0.058	ab	6.400	0.100	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

pH regosol pada inkubasi 28-56 hari menunjukkan trend yang sama dengan inkubasi sebelumnya, yaitu perlakuan terbaik dari biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur dengan kompos. Kenaikan pH regosol sebesar 0,9-1 unit dari 6,0 menjadi 6,9 (28 hari) dan dari 6,0 menjadi 7,0. Sementara itu sebagian besar perlakuan meingkatkan pH litosol sebesar 0,4 unit dari 6,77 menjadi 7,15 tetapi khususnya perlakuan biochar jengkok dan kompos menghasilkan kenaikan pH tertinggi sebesar 7,37. pH tanah mediteran meningkat dengan semua perlakuan. Kenaikan pH dari 5,77 menjadi 6,10 sampai 6,73 dan terendah pada kompos dan tertinggi pada biochar sekam padi (Tabel 22).

Tabel 23. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.067	0.058	a	6.767	0.115	a	5.767	0.058	a
S	6.213	0.115	b	7.167	0.058	bc	6.733	0.153	f
T	6.533	0.058	d	7.267	0.058	cd	6.267	0.058	c
J	6.967	0.058	f	7.167	0.058	bc	6.333	0.058	c
SA	6.233	0.058	b	7.067	0.058	ab	6.467	0.058	d
SK	6.533	0.058	d	7.167	0.058	bc	6.233	0.058	c
TA	6.333	0.058	bc	7.067	0.058	ab	6.433	0.058	d
TS	6.333	0.058	bc	7.167	0.058	bc	6.433	0.058	ef
JA	6.733	0.058	e	7.133	0.058	ab	6.633	0.058	e
JK	6.900	0.100	f	7.367	0.058	d	6.467	0.058	d
A	6.333	0.058	bc	7.067	0.058	ab	6.533	0.058	de
K	6.433	0.058	cd	7.233	0.058	c	6.100	0.100	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Inkubasi ke-56 hari menunjukkan kenaikan pH litosol dari 6,77 menjadi 7,13 pada semua perlakuan, kecuali biochar jengkok sebesar 7,40 (Tabel 23). Semua perlakuan dapat meningkatkan pH tanah mediteran sebesar 0,7 dari 5,77 menjadi 6,51 akan tetapi khususnya perlakuan biochar tongkok yang dicampur kompos serta biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang dapat menaikkan pH sebesar 0,95 unit menjadi 6,72.

Tabel 24. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.067	0.058	a	6.767	0.115	a	5.767	0.058	a
S	6.533	0.058	de	7.167	0.058	b	6.550	0.050	c
T	6.467	0.058	d	7.067	0.058	b	6.333	0.058	b
J	7.067	0.115	f	7.400	0.100	c	6.667	0.058	de
SA	6.100	0.100	ab	7.100	0.100	b	6.667	0.058	de
SK	6.367	0.058	c	7.167	0.153	b	6.333	0.058	b
TA	6.300	0.100	c	7.100	0.100	b	6.367	0.058	bc
TS	6.533	0.058	de	7.167	0.153	b	6.700	0.100	e
JA	6.867	0.058	e	7.200	0.100	b	6.733	0.058	e
JK	7.067	0.058	f	7.200	0.100	b	6.667	0.058	de
A	6.200	0.100	bc	7.067	0.058	b	6.433	0.058	bc
K	6.667	0.058	de	7.100	0.100	b	6.567	0.058	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi, semua perlakuan meningkatkan pH dari ketiga jenis tanah (Tabel 24). Kenaikan masing-masing pH regosol dari biochar sekam yang dicampur kompos maupun biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam merupakan perlakuan terbaik. Kenaikan pH regosol dari 6,07 menjadi 7,00. Semua perlakuan meningkatkan pH tanah litosol dari 6,88 menjadi 7,13 sampai 7,37. Kenaikan pH tertinggi dari perlakuan biochar tongkol dan biochar jengklok. Demikian pula yang terjadi pada tanah mediteran, kenaikan pH dari 5,80 menjadi 6,23 sampai 6,61. Kenaikan tertinggi dari perlakuan biochar sekam dan biochar tongkol.

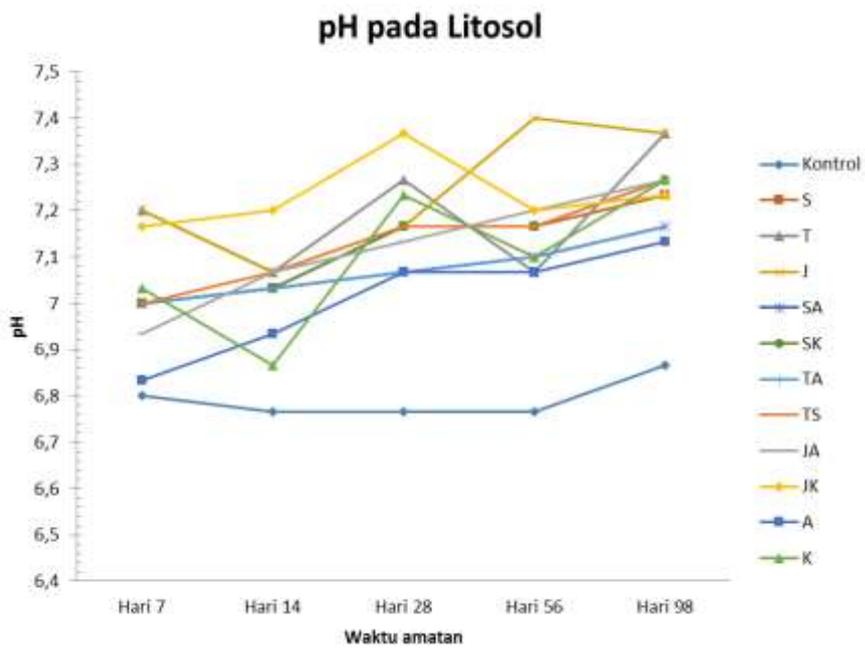
Tabel 25. pH masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.067	0.058	a	6.867	0.115	A	5.800	0.100	a
S	6.467	0.153	bc	7.233	0.058	Bc	6.633	0.058	e
T	6.500	0.100	c	7.367	0.058	D	6.633	0.058	e
J	6.700	0.100	d	7.367	0.058	D	6.567	0.058	de
SA	6.600	0.100	cd	7.167	0.058	bc	6.333	0.058	bc
SK	6.900	0.100	e	7.267	0.058	cd	6.333	0.058	bc
TA	7.133	0.058	e	7.167	0.058	bc	6.500	0.000	de
TS	6.600	0.100	cd	7.267	0.058	cd	6.300	0.000	b
JA	6.533	0.058	c	7.267	0.058	cd	6.533	0.058	de
JK	6.567	0.058	c	7.233	0.058	bc	6.533	0.058	de
A	6.333	0.058	b	7.133	0.058	B	6.233	0.058	b
K	6.500	0.100	c	7.267	0.058	cd	6.467	0.058	cd

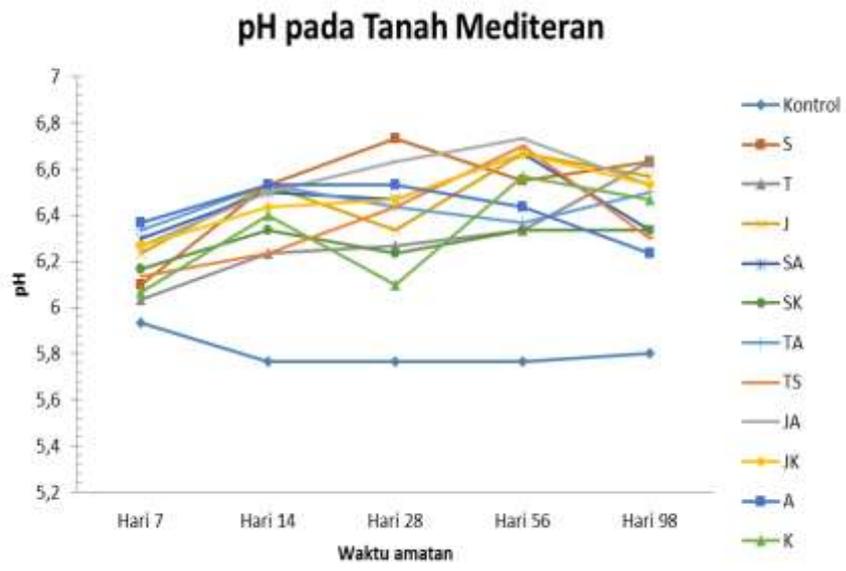
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

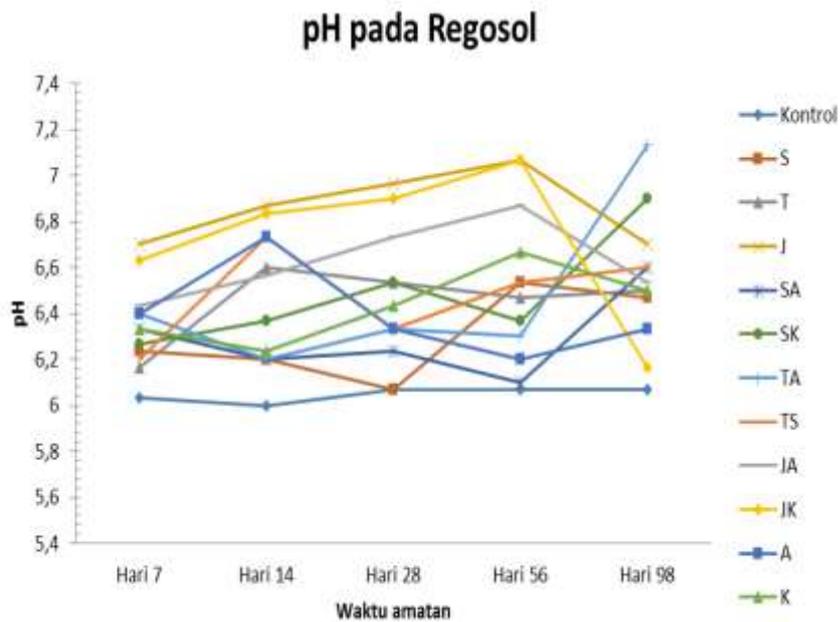
Dinamik pH dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. pH pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 8-10. Kenaikan dan penurunan pH akibat pemberian biochar dan pupuk organik pada ketiga jenis tanah dari waktu ke waktu.



Gambar 8. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah litosol



Gambar 9. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah mediteran



Gambar 10. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap pH tanah regosol

5.7. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kejenuhan Basa (KB) pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Hasil analisis dengan nested design kejenuhan basa disajikan pada Tabel 25, sedangkan uji lanjut dengan DMRT kejenuhan basa disajikan pada Tabel 26-30.

Tabel 26. Hasil analisis nested design kejenuhan basa pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 25. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan ($<0.001 < \alpha (=0.05)$) maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kejenuhan basa (KB) tanah

pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 21-25.

Hari 7

Inkubasi 7 hari menunjukkan KB tertinggi pada perlakuan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang (regosol) dan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang yang tidak berbeda dengan hanya pupuk kandang (mediteran). Sedangkan pada litosol, semua perlakuan memberikan KB yang sama (Tabel 26).

Tabel 27. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	62.596	4.604	a	98.058	0.227	a	42.938	1.814	a
S	85.479	4.335	b	100.088	0.470	a	46.031	7.053	ab
T	81.804	1.277	b	97.920	3.282	a	50.440	1.131	ab
J	88.606	3.697	bcd	99.944	0.504	a	54.004	1.426	bcd
SA	99.185	1.395	d	99.737	0.151	a	44.213	1.600	ab
SK	85.208	6.834	bc	96.016	2.928	a	58.383	4.885	cd
TA	95.031	4.151	cd	96.583	2.377	a	58.667	1.722	cd
TS	92.991	9.081	bcd	96.475	1.504	a	64.562	3.305	d
JA	91.465	5.099	bcd	98.826	0.837	a	54.101	2.681	bcd
JK	97.792	5.677	cd	97.697	2.299	a	45.725	0.089	ab
A	91.513	1.721	bcd	96.570	1.561	a	64.436	2.418	d
K	84.588	4.844	bc	99.620	0.554	a	46.698	3.237	ab

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Inkubasi 14 hari menunjukkan KB tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam (regosol) dan biochar jengkok tunggal tidak berbeda dengan yang dicampur kompos (mediteran). Akan tetapi pada litosol, KB menurun dengan pemberian pupuk organik (kompos maupun pupuk kandang). Sedangkan perlakuan lainnya tidak berbeda dengan kontrol (Tabel 27).

Tabel 28. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	54.299	1.976	a	98.168	0.216	bc	43.295	0.389	a
S	77.633	3.014	b	99.990	0.708	c	70.708	0.589	d
T	86.989	1.204	e	99.694	0.893	c	67.092	1.903	c
J	93.000	0.637	h	98.666	2.835	bc	80.230	0.500	f
SA	81.914	2.177	c	100.289	0.213	c	73.591	1.616	de
SK	84.617	0.679	d	97.986	0.538	bc	63.286	2.182	b
TA	84.992	1.430	d	95.448	0.826	b	68.727	0.624	c
TS	91.331	0.098	gh	99.374	0.321	c	62.739	0.566	b
JA	88.934	2.923	ef	100.066	0.430	c	63.735	1.047	b
JK	89.950	1.633	fg	99.805	1.011	c	82.496	1.783	f
A	96.378	0.393	i	90.527	0.485	a	74.132	0.195	e
K	91.737	1.259	gh	88.150	0.346	a	72.035	1.172	de

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Inkubasi 28 hari menunjukkan KB tertinggi pada biochar jengkok (regosol) dan biochar sekam (mediteran). Sedangkan pada litosol menunjukkan KB yang sama pada semua perlakuan (Tabel 28).

Tabel 29. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	52.399	2.267	a	98.441	0.621	ab	44.165	0.921	a
S	81.472	0.800	d	100.170	0.339	b	82.774	1.459	g
T	85.490	0.412	e	100.307	0.032	b	72.969	1.006	de
J	97.093	2.819	h	96.904	3.733	a	74.774	0.822	de
SA	71.701	2.076	b	99.698	0.028	ab	77.457	0.483	ef
SK	88.635	0.536	f	97.079	1.339	ab	68.702	1.527	c
TA	78.045	0.742	c	99.803	0.151	ab	74.385	0.649	de
TS	87.844	1.302	ef	99.381	1.136	ab	74.413	1.008	de
JA	88.843	0.308	f	99.534	0.689	ab	77.293	1.517	ef
JK	92.498	0.123	g	98.654	1.851	ab	76.852	0.656	ef
A	88.770	1.269	f	99.420	1.844	ab	78.808	0.404	f
K	89.272	6.333	f	99.528	0.171	ab	65.467	1.948	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Inkubasi 56 hari menunjukkan peningkatan KB yang bervariasi pada masing-masing jenis tanah maupun biochar-pupuk organik (Tabel 29). KB tertinggi pada biochar jengkok yang tidak berbeda ketika dicampur dengan pupuk kandang (regosol), biochar sekam yang tidak berbeda dengan biochar jengkok yang dicampur kompos maupun kompos tunggal (litosol), dan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang (mediteran).

Tabel 30. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	51.830	2.360	a	98.029	0.261	bc	45.724	0.767	a
S	81.595	0.749	e	100.181	0.401	d	88.572	0.059	c
T	80.962	0.578	e	99.760	0.427	cd	83.992	0.731	b
J	99.057	0.852	g	99.514	0.714	cd	90.547	0.636	d
SA	75.439	0.396	d	99.375	0.543	cd	94.369	0.219	f
SK	69.887	1.857	c	99.604	1.034	cd	84.933	0.274	b
TA	63.012	0.234	b	97.064	0.709	a	84.440	1.644	b
TS	69.132	0.918	c	99.982	0.505	cd	90.620	0.075	d
JA	98.308	0.684	g	99.988	0.020	cd	94.126	1.778	f
JK	94.904	1.005	f	100.434	0.037	d	90.915	0.428	d
A	75.305	1.663	d	97.783	0.364	a	89.708	0.077	cd
K	93.541	1.016	f	100.328	0.088	d	92.513	0.365	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Sampai pengamatan terakhir (98 hari), KB tertinggi pada biochar sekam yang dicampur kompos (regosol) dan biochar tongkol (mediteran), sedangkan pada litosol menunjukkan KB yang sama pada semua perlakuan (Tabel 30).

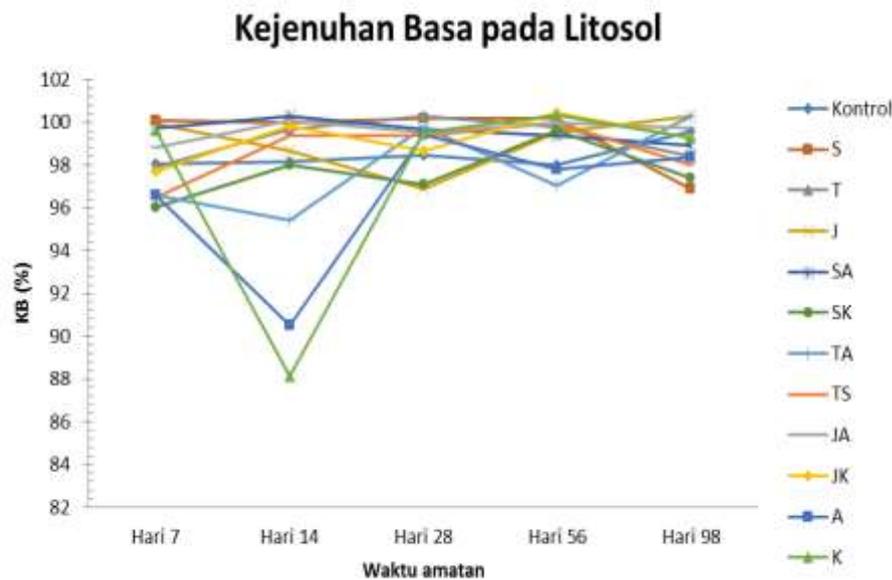
Dinamika KB dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. KB pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 25-30. Jenis tanah litosol menunjukkan KB dengan tren yang tidak melonjak naik atau turun dari waktu ke waktu, kecuali perlakuan kompos dan pupuk kandang (Gambar 25). Akan tetapi KB menunjukkan tren dengan lonjakan naik dan turun dari waktu ke waktu pada tanah mediteran. Tidak demikian dengan regosol yang sedikit ada peningkatan dan penurunan nilai KB pada 98 hari.

Tabel 31. kejenuhan basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

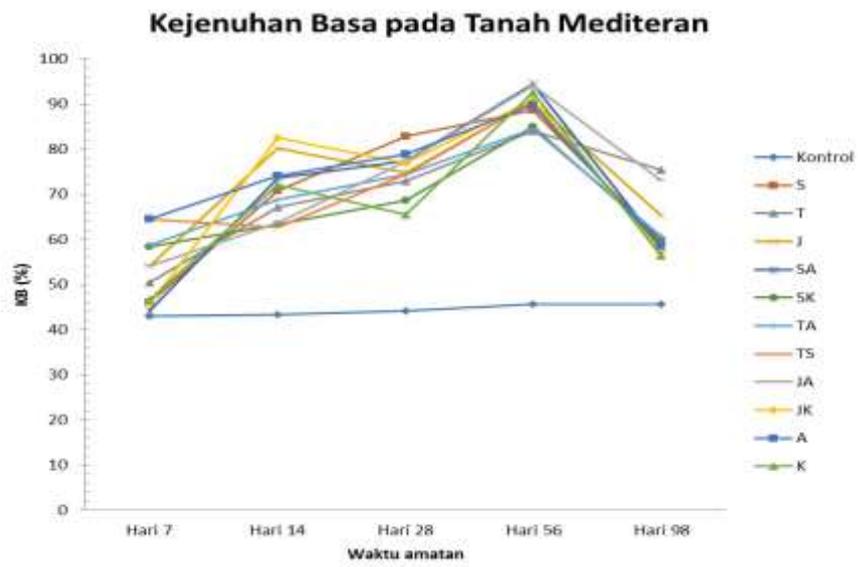
Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	69.215	1.667	a	99.585	0.719	ab	45.728	0.892	a
S	86.690	1.867	f	96.900	1.860	a	59.482	1.684	b
T	78.517	7.085	cd	98.405	0.992	ab	75.408	3.213	e
J	73.762	1.723	b	100.297	0.072	b	65.347	3.102	d
SA	74.797	2.672	c	98.903	1.577	ab	58.382	5.042	b
SK	97.412	2.514	h	97.415	1.013	ab	59.969	3.586	b
TA	94.593	3.690	g	100.304	0.083	b	60.729	0.569	b
TS	82.869	4.791	de	98.006	2.788	ab	57.944	1.416	b
JA	69.437	5.756	ab	99.744	0.279	ab	73.008	3.907	c
JK	83.764	1.040	e	99.288	0.430	ab	57.112	2.073	b
A	86.985	1.347	f	98.374	1.685	ab	58.579	2.953	b
K	69.590	0.924	ab	99.291	0.963	ab	56.394	1.157	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

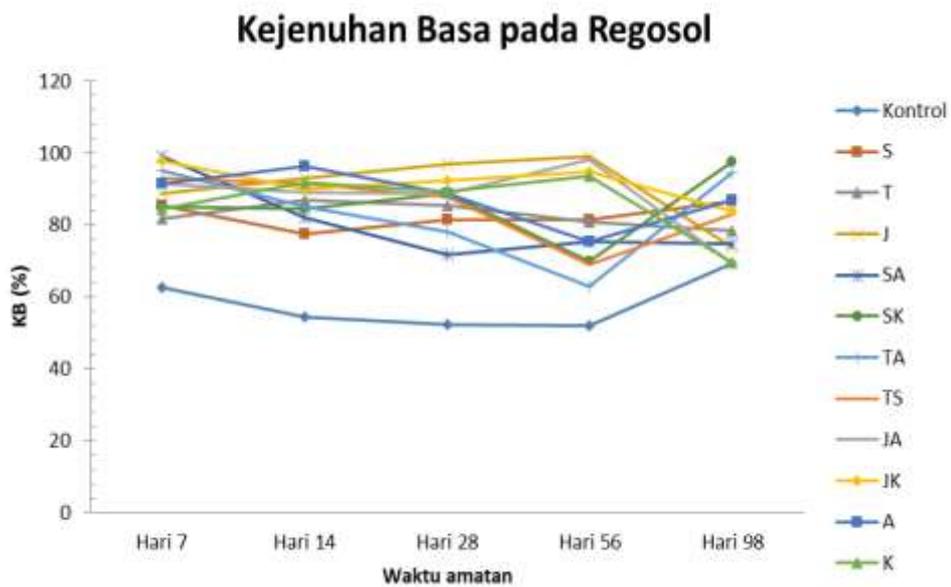
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 11. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah litosol



Gambar 12. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah mediteran



Gambar 13. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap KB tanah regosol

5.8. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap Kation Basa pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Hasil analisis kation basa dengan nested design disajikan pada Tabel 31, sedangkan uji lanjut dengan DMRT kation basa disajikan pada Tabel 32-36.

Tabel 32. Hasil analisis nested design dari kation basa pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 31. menunjukkan nilai sig pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kation basa pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 27-31.

Hari 7

Kation basa meningkat dengan perlakuan yang diberikan pada ketiga jenis tanah (Tabel 32). Inkubasi 7 hari pada regosol menunjukkan kenaikan kation basa yang kurang lebih sama, dari 7,3 me 100 g⁻¹ menjadi rata-rata 16,1 me 100 g⁻¹ baik biochar dan pupuk organik yang digunakan secara tunggal maupun campuran. Pada litosol, kation basa tertinggi pada perlakuan biochar jengkok yang dicampur dengan pupuk organik (pupuk organik maupun kompos), sebesar 37,1 me 100 g⁻¹ tetapi lainnya rata-rata sebesar 33,9 me 100 g⁻¹ (perlakuan) dan 23,7 me 100 g⁻¹ (kontrol). Kation basa tanah mediteran tertinggi diperoleh pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur kompos, yaitu 28,8 me 100 g⁻¹ sedangkan lainnya 23,3 me 100 g⁻¹ (perlakuan) dan 13,1 me 100 g⁻¹ (kontrol).

Hari 14

Inkubasi 14 hari pada regosol menunjukkan variasi kation basa dengan perlakuan yang diberikan. Kation basa tertinggi dari tanah lempung berpasir (regosol) berbeda dengan tanah liat, tetapi kation basa dari tanah liat (litosol dan mediteran) diperoleh dari perlakuan yang sama (biochar jengkok dicampur kompos). Tanah mediteran menunjukkan kenaikan kation basa yang lebih tinggi daripada litosol dari inkubasi 7 hingga 14 hari, yaitu dari 23,3 me 100 g⁻¹ menjadi 33,7 me 100 g⁻¹ (mediteran) serta dari 37,1 me 100 g⁻¹ menjadi 39 me 100 g⁻¹ (litosol) (Tabel 33).

Tabel 33. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	7.308	0.225	A	23.730	0.133	a	13.128	0.185	a
S	14.504	1.000	B	32.553	1.854	bc	19.840	1.196	b
T	15.185	0.279	bc	33.168	1.112	bc	20.902	3.657	b
J	16.915	0.266	C	35.546	0.226	cd	25.887	0.921	de
SA	16.149	2.145	bc	34.108	1.576	c	23.063	0.830	cd
SK	14.804	1.130	B	31.092	0.524	b	24.525	1.099	de
TA	17.661	1.105	C	34.475	3.595	c	26.276	1.693	ef
TS	17.423	2.651	C	31.026	0.906	b	28.818	1.723	f
JA	16.297	2.131	bc	37.079	1.884	d	26.643	0.745	ef
JK	17.168	1.494	C	37.118	0.970	d	23.328	0.496	cd
A	15.811	0.220	bc	35.976	0.687	cd	21.063	4.827	b
K	15.075	0.916	bc	36.969	2.059	cd	21.553	1.243	bc

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Inkubasi biochar jengkok pada regosol menunjukkan kation basa tertinggi diamati mulai 14 hari hingga 56 hari, tetapi pada litosol diamati mulai 14 hari hingga 98 hari. Pada 28 hari inkubasi di litosol menunjukkan bahwa kation basa tertinggi juga diperoleh pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur dengan pupuk kandang ayam. Berbeda dengan mediteran, kation basa tertinggi pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur kompos pada 28 hari inkubasi (Tabel 34).

Tabel 34. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.348	0.188	a	23.756	0.149	a	14.355	0.053	a
S	11.554	0.407	b	31.094	0.773	b	24.107	0.399	b
T	14.310	0.176	ef	32.068	0.411	c	24.648	0.614	bc
J	17.271	0.187	h	35.016	0.497	e	30.714	0.500	f
SA	13.539	0.081	de	32.087	0.105	c	29.178	0.633	ef
SK	14.121	0.066	ef	32.134	0.106	c	24.047	0.754	b
TA	12.820	0.213	cd	32.691	0.258	cd	27.898	0.220	d
TS	12.147	0.163	bc	30.825	0.215	b	24.773	0.215	bc
JA	13.846	0.137	e	36.423	0.281	f	25.012	0.387	c
JK	14.629	0.264	f	38.989	0.724	g	33.659	0.303	g
A	15.639	0.163	g	33.270	0.264	d	28.788	0.177	e
K	15.342	0.142	g	32.516	0.133	cd	29.926	0.345	f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Tabel 35. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.126	0.242	a	23.823	0.302	a	14.385	0.102	a
S	11.781	0.100	c	29.182	0.085	c	28.132	0.313	e
T	13.266	0.278	de	31.583	0.110	d	26.908	0.389	d
J	14.336	0.309	f	34.130	0.345	e	26.216	0.250	c
SA	9.621	0.244	b	31.385	0.303	d	26.636	0.324	cd
SK	11.591	0.078	c	27.705	0.251	b	23.084	0.548	b
TA	12.391	0.053	c	34.141	0.205	e	26.108	0.266	c
TS	12.460	0.266	cd	31.879	0.329	d	28.408	0.375	f
JA	14.024	0.030	ef	31.667	0.416	d	26.863	0.675	cd
JK	11.994	0.205	c	29.643	0.375	c	27.821	0.228	ef
A	12.275	0.160	c	35.727	0.534	g	28.021	0.452	ef
K	13.487	0.244	de	36.345	0.110	g	23.604	0.702	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Sampai pada inkubasi 56 hari, perlakuan biochar jengkok tembakau menunjukkan kation basa tertinggi pada masing-masing jenis tanah. Khususnya tanah mediteran, kation basa tertinggi juga dari perlakuan jengkok yang dicampur kompos (Tabel 35).

Tabel 36. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.060	0.251	a	23.723	0.208	a	14.385	0.102	a
S	10.878	0.089	c	29.915	0.065	d	24.415	0.065	b
T	13.601	0.017	h	30.625	0.608	e	31.737	0.259	f
J	14.153	0.292	i	31.240	0.122	f	32.695	0.210	g
SA	13.025	0.048	fg	28.353	0.136	b	31.921	0.034	f
SK	11.552	0.181	de	28.723	0.187	b	28.994	0.109	c
TA	9.494	0.064	b	29.210	0.209	c	30.202	0.629	d
TS	11.982	0.177	e	32.882	0.083	h	30.165	0.009	d
JA	13.653	0.203	hi	29.878	0.904	d	30.423	0.566	d
JK	12.660	0.100	f	30.868	0.086	e	32.570	0.165	g
A	13.175	0.065	gh	32.123	0.127	g	30.586	0.019	d
K	11.160	0.099	cd	30.816	0.031	e	31.146	0.151	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi (98 hari), menunjukkan bahwa kation basa terbaik pada regosol dari perlakuan pupuk kandang ayam secara tunggal maupun yang dicampur biochar tongkol, yaitu sebesar 16,5 me 100 g⁻¹. Kation basa tertinggi pada litosol diperoleh dari pupuk kandang ayam yang dicampur dengan ketiga jenis biochar. Khususnya biochar jengkok secara tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik (pupuk kandang ayam ataupun kompos) menunjukkan kation basa yang juga tertinggi. Tetapi pada tanah mediteran, kation basa pada pupuk kandang ayam yang dicampur biochar jenkok terbaik pada inkubasi 98 hari (Tabel 36).

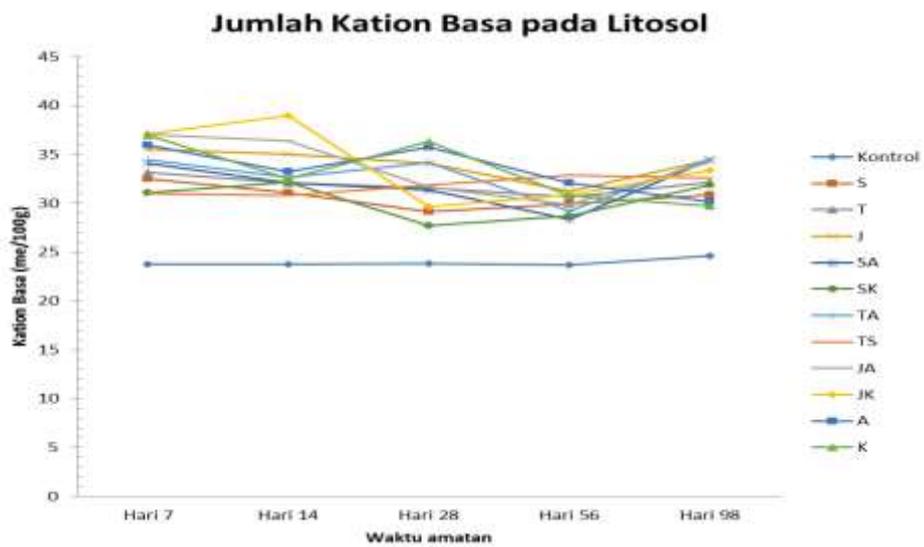
Tabel 37. kation basa masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

Jenis Pupuk	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	6.045	0.369	a	24.613	0.593	a	14.386	0.142	a
S	15.333	1.078	f	30.907	0.486	c	22.572	0.725	f
T	13.823	0.863	e	32.168	0.600	ef	26.343	0.997	h
J	13.526	0.876	e	34.469	0.663	g	21.786	0.659	e
SA	11.789	0.973	c	34.487	0.238	g	24.127	1.730	g
SK	15.196	0.405	g	31.882	0.259	e	19.297	0.734	b
TA	16.919	0.701	h	34.552	1.156	g	21.049	0.226	d
TS	12.680	0.419	d	32.573	0.435	f	21.459	0.456	de
JA	11.949	0.394	c	34.243	0.405	g	27.326	1.141	i
JK	10.973	0.297	b	33.393	0.343	g	21.701	0.731	e
A	16.433	0.404	h	30.125	0.263	b	20.712	0.723	c
K	12.035	0.217	c	29.753	1.183	b	19.090	0.531	b

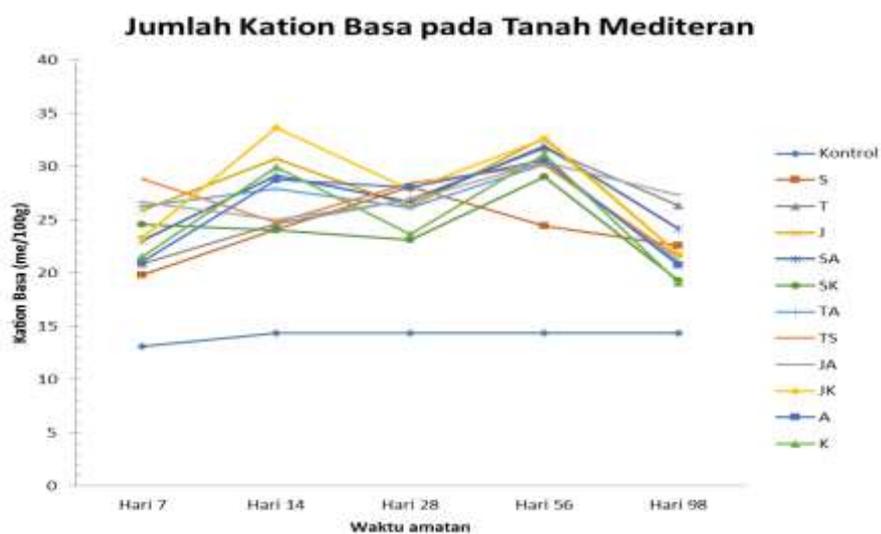
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

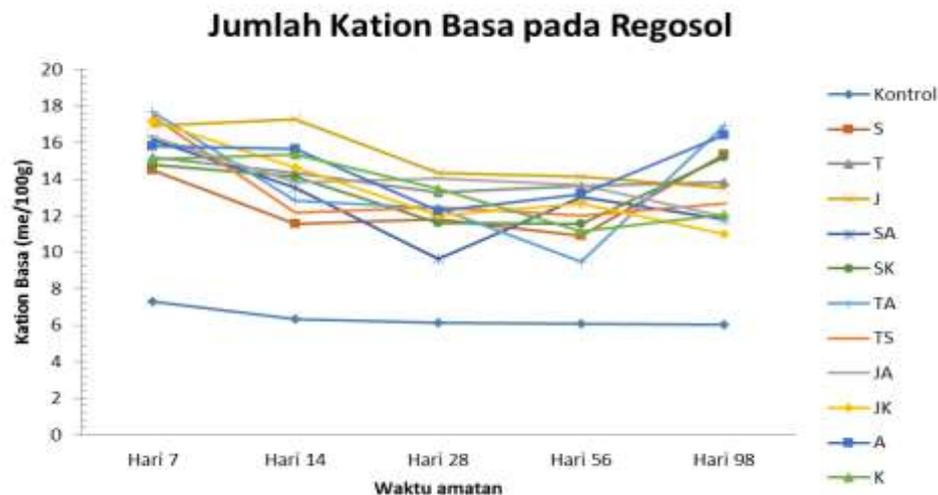
Dinamika kation basa dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar kation basa pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 14-16. Perubahan kadar kation basa meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar kation basa cenderung tetap (litosol). Kadar kation basa cenderung naik dan turun dari satu pengamatan ke pengamatan lainnya (mediteran). Kadar kation basa cenderung tetap sampai 56 hari sesudah itu meningkat khususnya pupuk kandang sampai 98 hari (regosol).



Gambar 14. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah litosol



Gambar 15. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah mediteran



Gambar 16. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kation basa tanah regosol

5.9. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Nitrogen pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

DeLuca *et al.* (2009) menjelaskan secara umum biochar lebih penting untuk modifikasi tanah dan transformasi hara, serta kurang berarti sebagai sumber utama nutrisi. Biochar yang berasal bahan baku dari kotoran dan produk-hewan relatif kaya nutrisi bila dibandingkan dengan yang berasal dari bahan tanaman dan terutama yang berasal dari kayu. Kondisi pirolisis dan bahan baku biomassa mempengaruhi komposisi dan struktur biochar sehingga menghasilkan perbedaan yang signifikan dalam kandungan hara. Selain itu, variasi dalam sifat fisiko-kimia biochar menyebabkan variabilitas dalam ketersediaan nutrisi dalam biochar setiap tanaman.

Kondisi pirolisis juga mempengaruhi kandungan hara dan ketersediaan. Pirolisis suhu tinggi dapat menurunkan kandungan dan ketersediaan nitrogen. Jumlah kandungan nitrogen ditemukan menurun 3,8-1,6% ketika suhu pirolisis meningkat, masing-masing dari 400 sampai 800°C (Bagreev *et al.*, 2001). Kadar nitrogen yang ada di dalam tanah bervariasi dengan perlakuan dan jenis tanah. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 37, sedangkan uji lanjut dengan DMRT kadar N pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Tabel 38-42.

Tabel 38. Hasil analisis nested design kadar N tanah pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 37. menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha(=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar N tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar N tanah pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 38-42.

Inkubasi Hari 7

Pada inkubasi 7 hari, perlakuan pupuk kandang ayam telah meningkatkan kadar N tanah regosol 2 kali lebih tinggi dari 0,08% menjadi 0,19% sedangkan pada litosol hampir 4 kali lebih tinggi dari 0,14% menjadi 0,51%. Kadar N dari perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik (kompos maupun pupuk kandang) meningkat hampir 2 kali lebih tinggi. Kandungan N dari pupuk kandang (4,05%) tertinggi selanjutnya diikuti kompos (2,6%) dan biochar jengkok (1 83%). Kenaikan kadar N tanah regosol dan litosol berlangsung selama 7 hari. Namun pada inkubasi yang sama belum terjadi kenaikan kadar N pada tanah mediteran dari semua perlakuan (Tabel 38). Kenaikan kadar N tanah mediteran terjadi pada 14 hari inkubasi dengan perlakuan kompos (Tabel 39).

Tabel 39. kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.079	0.002	a	0.136	0.012	a	0.103	0.006	a
S	0.094	0.006	ab	0.148	0.010	a	0.101	0.002	a
T	0.109	0.005	ab	0.215	0.014	ab	0.127	0.012	a
J	0.113	0.011	ab	0.254	0.018	b	0.124	0.003	a
SA	0.123	0.005	ab	0.200	0.011	ab	0.132	0.008	a
SK	0.102	0.002	ab	0.199	0.004	ab	0.129	0.010	a
TA	0.122	0.014	ab	0.217	0.008	ab	0.114	0.027	a
TS	0.105	0.010	ab	0.194	0.014	ab	0.132	0.002	a
JA	0.124	0.006	ab	0.251	0.016	b	0.118	0.011	a
JK	0.129	0.003	ab	0.229	0.022	b	0.130	0.020	a
A	0.185	0.011	b	0.513	0.298	c	0.136	0.026	a
K	0.124	0.008	ab	0.233	0.011	b	0.144	0.034	a

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Pada inkubasi 14-28 hari, kadar N tanah regosol dari perlakuan biochar jengkok meningkat 2 kali lebih tinggi. Pada inkubasi 14 hari, kadar N tanah litosol pada perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur kompos hampir 2 kali lebih tinggi dari kontrol. Hal yang sama terjadi pada perlakuan biochar tongkol jagung pada litosol dan mediteran. Khususnya mediteran, kadar N tertinggi dari pemberian kompos pada inkubasi 14 hari (Tabel 39). Hal ini menunjukkan kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik. Banyaknya N yang dikandung dalam biochar menentukan kemampuan tanah meningkatkan kadar N dalam tanah. Nitrogen merupakan unsur hara makro utama dalam bentuk amonium (NH_4^+) dan nitrat (NO_3^+) yang dibutuhkan tanaman dalam jumlah yang banyak.

Tabel 40. kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.073	0.000	a	0.118	0.007	a	0.093	0.000	a
S	0.117	0.021	b	0.124	0.006	a	0.135	0.000	b
T	0.115	0.013	b	0.224	0.013	d	0.206	0.003	d
J	0.159	0.030	c	0.234	0.000	d	0.194	0.016	d
SA	0.121	0.018	b	0.170	0.011	b	0.126	0.004	b
SK	0.092	0.008	ab	0.180	0.004	b	0.113	0.007	ab
TA	0.095	0.012	ab	0.184	0.012	b	0.162	0.023	c
TS	0.107	0.009	ab	0.173	0.010	b	0.115	0.004	ab
JA	0.112	0.007	b	0.194	0.024	bc	0.123	0.006	b
JK	0.126	0.022	b	0.248	0.047	d	0.117	0.005	ab
A	0.126	0.021	b	0.193	0.010	bc	0.217	0.005	de
K	0.101	0.026	ab	0.219	0.004	cd	0.245	0.029	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Hingga 28 hari inkubasi, kadar N tanah litosol tertinggi pada biochar jengkok yang dicampur kompos selanjutnya diikuti dengan yang dicampuru pupuk kandang maupun biochar tongkol. Kadar N tanah mediteran tertinggi pada perlakuan pupuk kandang yang dicampur biochar sekam maupun biochar jengkok. Hasil yang sama juga pada pemberian kompos (Tabel 40). Perlakuan campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya.

Tabel 41. kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.069	0.014	a	0.118	0.006	a	0.081	0.011	a
S	0.081	0.007	a	0.167	0.010	b	0.111	0.007	b
T	0.125	0.023	de	0.274	0.035	e	0.116	0.006	bc
J	0.140	0.005	e	0.241	0.006	d	0.112	0.000	b
SA	0.090	0.015	b	0.181	0.006	b	0.165	0.017	e
SK	0.107	0.010	b	0.202	0.007	c	0.113	0.006	b
TA	0.111	0.000	cd	0.207	0.004	c	0.132	0.007	cd
TS	0.110	0.008	cd	0.207	0.006	c	0.140	0.006	cde
JA	0.115	0.003	cd	0.270	0.019	e	0.156	0.015	e
JK	0.115	0.003	cd	0.315	0.004	f	0.150	0.007	de
A	0.115	0.001	cd	0.190	0.000	c	0.125	0.003	bc
K	0.106	0.004	b	0.194	0.000	c	0.160	0.009	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Pemberian biochar jengkok secara tunggal maupun yang dicampur dengan pupuk organik menunjukkan kadar N tanah regosol tertinggi. Kemampuan biochar jengkok lebih lama dalam meningkatkan kadar N tanah regosol, sejak inkubasi hari ke-14 hingga hari ke-56. Tidak demikian dengan peningkatan kadar N tanah regosol dengan pupuk kandang ayam yang hanya terjadi pada inkubasi 7 hari. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kadar N tanah regosol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Namun kadar N tanah litosol tertinggi pada pemberian pupuk kandang, selanjutnya diikuti oleh biochar jengkok maupun kompos. Kadar N tanah mediteran tertinggi dari perlakuan kompos yang diikuti oleh perlakuan biochar jengkok tunggal maupun yang dicampur pupuk kandang (Tabel 41). Peningkatan kadar N tanah mediteran lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya.

Tabel 42. kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.069	0.014	a	0.118	0.006	a	0.081	0.011	a
S	0.085	0.005	b	0.116	0.005	a	0.135	0.005	cd
T	0.095	0.005	b	0.157	0.006	b	0.116	0.006	b
J	0.128	0.007	c	0.218	0.017	d	0.149	0.010	de
SA	0.092	0.007	b	0.162	0.007	bc	0.120	0.010	bc
SK	0.092	0.008	b	0.151	0.010	b	0.098	0.007	a
TA	0.096	0.005	b	0.200	0.010	d	0.110	0.009	a
TS	0.093	0.006	b	0.181	0.010	cd	0.097	0.006	a
JA	0.128	0.007	c	0.167	0.006	bc	0.151	0.012	de
JK	0.130	0.010	c	0.178	0.004	cd	0.120	0.009	bc
A	0.097	0.006	b	0.246	0.025	e	0.129	0.009	bc
K	0.090	0.010	b	0.209	0.012	d	0.168	0.007	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi (Tabel 42), kadar N tanah tertinggi pada biochar tongkok dicampur pupuk kandang (regosol), biochar jengkok (litosol), dan biochar jengkok dicampur pupuk kandang (mediteran).

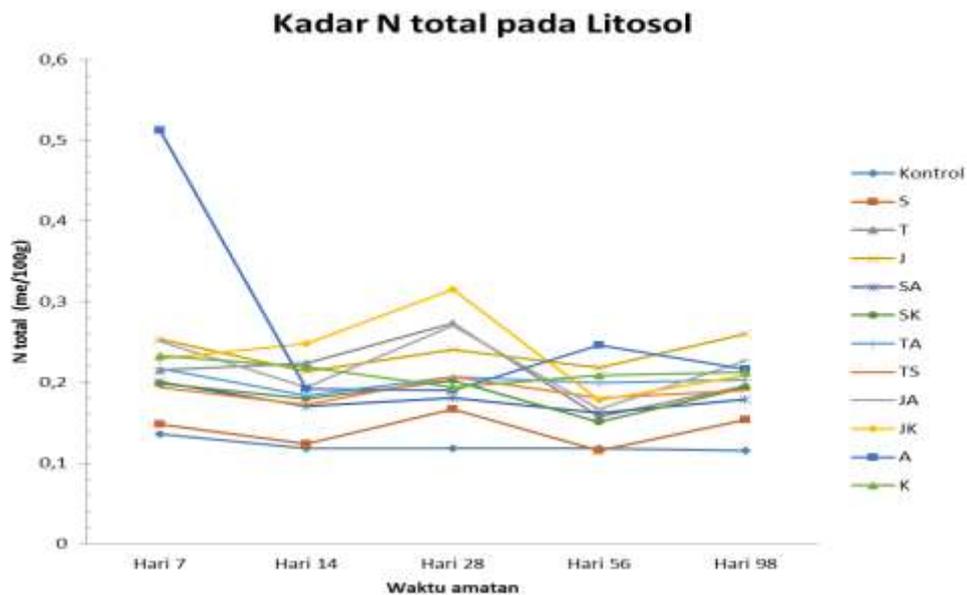
Dinamika kadar N dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar N pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 17-19. Perubahan kadar N meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar N cenderung tetap kecuali pada perlakuan pupuk kandang yang melonjak turun pada 14 hari (litosol). Kadar N meningkat pada 14 hari dan cenderung tetap sampai 98 hari (mediteran). Kadar N cenderung tetap sampai 56 hari dan tetap ataupun meningkat pada 98 hari kecuali pupuk kandang yang melonjak turun dan biochar jengkok yang melonjak naik pada 14 hari (regosol).

Tabel 43. Kadar N masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

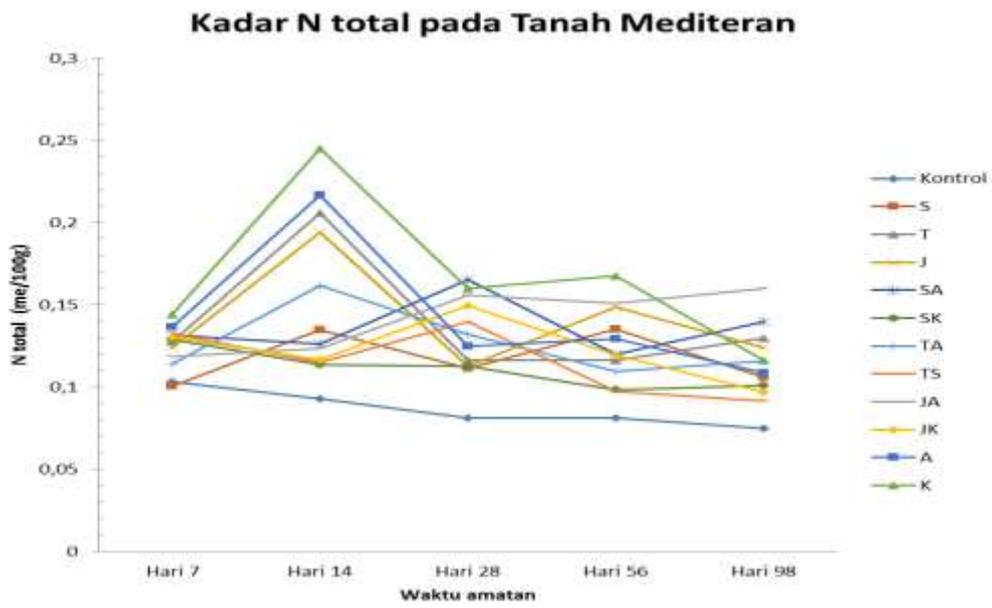
Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.069	0.014	a	0.115	0.005	a	0.075	0.018	a
S	0.098	0.007	b	0.154	0.005	b	0.106	0.015	bc
T	0.097	0.006	b	0.196	0.005	cd	0.130	0.010	e
J	0.099	0.002	b	0.260	0.010	g	0.124	0.005	de
SA	0.096	0.005	b	0.179	0.009	c	0.140	0.010	e
SK	0.130	0.010	c	0.194	0.007	cd	0.101	0.010	bc
TA	0.150	0.010	d	0.203	0.015	de	0.116	0.005	cd
TS	0.096	0.005	b	0.190	0.010	cd	0.092	0.012	b
JA	0.097	0.006	b	0.227	0.015	f	0.160	0.010	f
JK	0.093	0.011	b	0.209	0.010	de	0.097	0.015	b
A	0.082	0.014	ab	0.216	0.015	ef	0.108	0.008	bc
K	0.088	0.011	ab	0.212	0.007	ef	0.116	0.005	cd

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

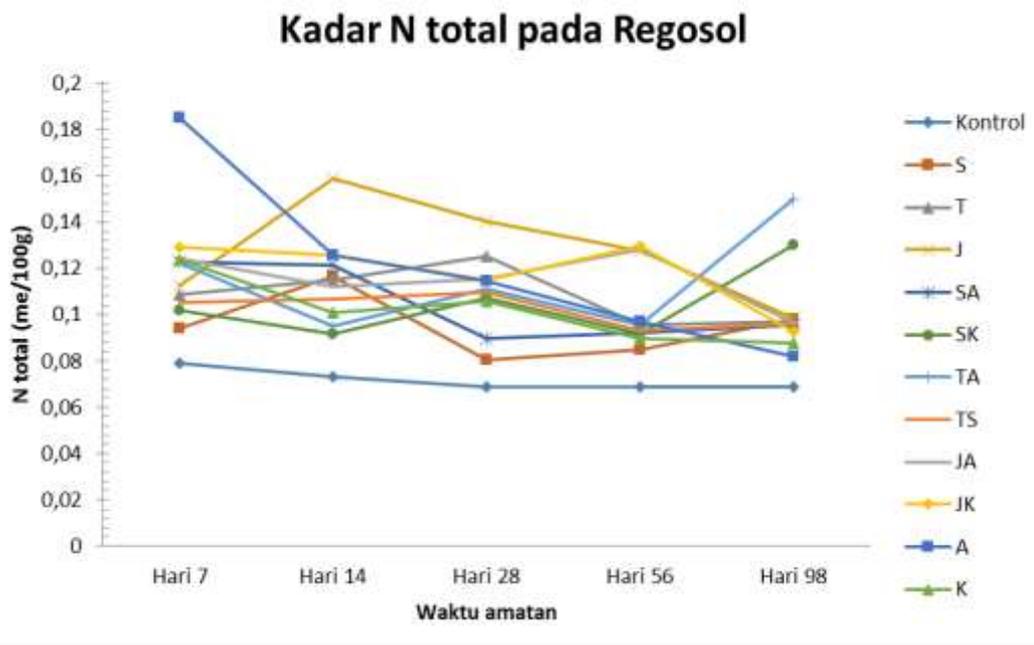
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 17. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah litosol



Gambar 18. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah mediteran



Gambar 19. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar N total tanah regosol

6.0. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Phosfor pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Secara umum, kandungan hara biochar mencerminkan kandungan hara dari bahan baku. Biochar yang berasal dari kotoran atau tulang relatif tinggi akan nutrisi, terutama fosfor. Biochar yang diproduksi dari bahan tanaman, dari kayu umumnya memiliki tingkat hara yang rendah dan yang dihasilkan dari daun dan limbah pengolahan makanan memiliki tingkat hara yang lebih tinggi. Hasil analisis dengan nested design kadar P disajikan pada Tabel 43, sedangkan uji lanjut dengan DMRT kadar P disajikan pada Tabel 44-48.

Tabel 44. Hasil analisis nested design kadar P tanah pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 43 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar P tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar P pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 44-48.

Hari 7

Inkubasi hari ke-7 menunjukkan bahwa kadar P tanah meningkat dengan semua perlakuan pada ketiga jenis tanah. Pemberian pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan kadar P tanah regosol dan mediteran, sedangkan pada litosol pada perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam. Peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan pupuk kandang sebesar 13,6 kali lipat (regosol) dan 23,3 kali lipat (mediteran). Berbeda pada litosol, peningkatan kadar

P tanah tertinggi dari perlakuan biochar tongkol+pupuk kandang sebesar 7,9 kali lipat (kontrol). Kadar P tanah meningkat dengan campuran pupuk kandang ayam dan biochar berbagai jenis (Tabel 44). Peningkatan kadar P tanah regosol sebesar 2 kali lebih tinggi dari 25,03 mg kg⁻¹ (biochar sekam) menjadi 51,38 mg kg⁻¹ (biochar sekam+pupuk kandang) serta 1,6 kali lipat lebih tinggi dari 28,77 (biochar tongkol) menjadi 46,09 mg kg⁻¹ (biochar tongkol+pupuk kandang). Peningkatan kadar P tanah litosol sebesar 2,5 kali lebih tinggi dari 22,64 mg kg⁻¹ (biochar sekam) menjadi 57,53 mg kg⁻¹ (biochar sekam+pupuk kandang) serta 2,3 kali lebih tinggi dari 28,02 (biochar tongkol) menjadi 63,25 mg kg⁻¹ (biochar tongkol+pupuk kandang). Peningkatan kadar P tanah mediteran sebesar 3,7 kali lebih tinggi dari 1,92 mg kg⁻¹ (biochar sekam) menjadi 7,12 mg kg⁻¹ (biochar sekam+pupuk kandang); 1,3 lebih tinggi dari 8,32 mg kg⁻¹ (biochar tongkol) menjadi 10,88 mg kg⁻¹ (biochar tongkol+pupuk kandang); dan 5,4 kali lebih tinggi dari 3,79 mg kg⁻¹ (biochar jengkok) menjadi 20,40 mg kg⁻¹ (biochar jengkok+pupuk kandang).

Pupuk kandang ayam mengandung P sebesar 11,62% yang tertinggi dibanding perlakuan lainnya. Selanjutnya kompos mengandung P sebesar 3,87% dan biochar sekam mengandung P sebesar 0,14%. Biochar tongkol dan biochar jengkok mengandung P yang kurang lebih sama, yaitu 0,44-0,46%.

Tabel 45. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	7.992	0.702	a	1.604	0.063	a
S	25.034	2.281	b	22.640	0.749	b	1.916	0.381	a
T	28.769	1.518	b	28.017	6.111	bc	8.312	2.258	ab
J	36.584	1.907	bc	45.788	2.232	de	3.792	0.000	ab
SA	51.378	4.402	de	57.526	5.901	ef	7.120	1.412	ab
SK	26.115	1.562	b	40.870	0.000	cd	3.912	1.680	ab
TA	46.090	8.729	cd	63.249	7.317	f	10.878	3.157	ab
TK	26.365	0.754	b	26.731	0.000	bc	3.840	0.763	ab
JA	33.415	1.460	bc	51.871	6.941	de	20.403	1.305	bc
JK	31.340	9.450	b	44.948	3.834	de	3.739	0.769	a
A	61.375	4.434	e	54.592	1.130	ef	37.316	3.134	c
K	32.188	2.954	b	25.047	2.393	b	8.564	2.168	ab

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Sampai hari ke-14, kadar P masing-masing tanah meningkat dengan pemberian biochar dan pupuk organik (Tabel 45). Peningkatan tertinggi dengan pemberian pupuk kandang sebesar 15,5 kali lipat (regosol); 14 kali lipat (litosol); dan 76,6 kali lipat (mediteran) dibanding kontrol. Campuran biochar dan pupuk kandang menghasilkan kadar P yang lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar pada regosol dan litosol. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada regosol meningkat 2,4 kali (sekam); 1,4 kali (tongkol); dan 1,3 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada litosol meningkat 2,5 kali (sekam); 1,3 kali (tongkol); dan 1,5 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Pada tanah mediteran campuran biochar sekam dan pupuk kandang tidak lebih baik daripada biochar sekam maupun pupuk kandang yang tidak dicampur. Namun demikian campuran biochar (tongkol maupun jengkok) dan pupuk kandang masih lebih tinggi daripada hanya menggunakan biocharnya. Penggunaan campuran biochar dan pupuk kandang pada mediteran meningkat 1,7 kali (tongkol) dan 1,1 kali (jengkok) lebih tinggi daripada hanya menggunakan biochar secara tunggal. Ketiga jenis tanah menunjukkan kadar P tertinggi pada perlakuan pupuk kandang

Tabel 46. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	7.992	0.702	a	1.604	0.063	a
S	24.449	0.231	c	29.080	0.110	d	15.450	0.563	e
T	25.503	0.542	c	46.590	0.401	f	25.594	0.570	h
J	30.660	0.303	d	35.160	0.470	d	21.450	0.489	f
SA	58.447	0.480	h	71.683	0.710	j	10.661	0.364	d
SK	55.050	0.862	g	26.260	0.765	c	4.633	0.150	c
TA	34.853	0.366	e	61.873	0.987	i	42.583	0.355	i
TK	21.397	0.532	b	23.760	0.800	b	3.742	0.025	b
JA	40.889	0.153	f	51.763	0.845	g	24.117	0.000	g
JK	24.743	0.451	c	55.250	0.770	h	3.031	0.013	b
A	69.763	0.225	i	111.693	1.900	k	122.567	0.531	j
K	24.058	0.800	c	41.580	0.000	e	30.349	0.169	h

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Perlakuan pupuk kandang ayam menghasilkan kadar P tertinggi pada regosol dan litosol sampai 28 hari inkubasi. Akan tetapi perlakuan campuran biochar sekam dan pupuk kandang pada tanah mediteran menunjukkan kadar P terbaik. Secara umum kadar P dari campuran biochar dan pupuk kandang masih lebih baik daripada perlakuan biochar secara tunggal (Tabel 46).

Tabel 47. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	7.992	0.702	a	1.604	0.063	a
S	28.993	0.317	e	28.993	0.317	e	6.161	0.060	c
T	33.423	0.561	g	33.423	0.561	g	7.549	0.021	d
J	29.113	0.101	ef	29.113	0.101	ef	9.110	0.017	e
SA	27.711	0.176	d	27.711	0.176	d	71.679	0.361	k
SK	25.675	0.655	c	25.675	0.655	c	4.464	0.264	b
TA	40.501	0.513	h	40.501	0.513	h	12.178	0.056	g
TK	24.377	0.556	b	24.377	0.556	b	9.090	0.042	e
JA	40.890	0.184	h	40.890	0.184	h	25.620	0.650	j
JK	24.737	0.770	bc	24.737	0.770	bc	16.630	0.222	h
A	84.165	0.804	i	84.165	0.804	i	21.700	0.276	i
K	30.140	1.253	f	30.140	1.253	f	12.145	0.018	g

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Kadar P tanah pada inkubasi hari ke-14 tidak berbeda dengan hari ke-56, yaitu perlakuan pupuk kandang terbaik pada ketiga jenis tanah. Kadar P tanah juga lebih baik dari perlakuan campuran biochar dan pupuk kandang daripada perlakuan biochar tunggal (Tabel 47).

Tabel 48. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	7.992	0.702	a	1.604	0.063	a
S	10.737	0.046	d	11.402	0.187	b	10.737	0.046	d
T	12.908	0.016	fg	19.149	0.026	f	12.908	0.016	e
J	13.289	0.022	h	25.716	0.107	h	13.289	0.022	f
SA	14.703	0.136	i	23.729	0.170	g	14.703	0.136	g
SK	8.684	0.259	c	14.969	0.040	d	8.684	0.259	c
TA	10.607	0.177	d	36.852	0.083	h	10.607	0.177	d
TK	13.083	0.006	gh	12.184	0.029	c	13.083	0.006	ef
JA	20.907	0.059	j	86.935	0.065	j	20.907	0.059	h
JK	6.037	0.055	b	17.689	0.106	e	6.037	0.055	b
A	25.878	0.025	k	97.141	0.150	k	25.878	0.025	i
K	11.673	0.025	e	52.847	0.061	i	11.673	0.025	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir inkubasi (98 hari), kadar P tanah regosol terbaik pada perlakuan biochar sekam padi, sedangkan litosol terbaik pada perlakuan campuran biochar jengkok dan pupuk kandang. Khususnya pupuk kandang, kadar P tanah mediteran masih terbaik sejak 56 hingga 98 hari inkubasi (Tabel 48).

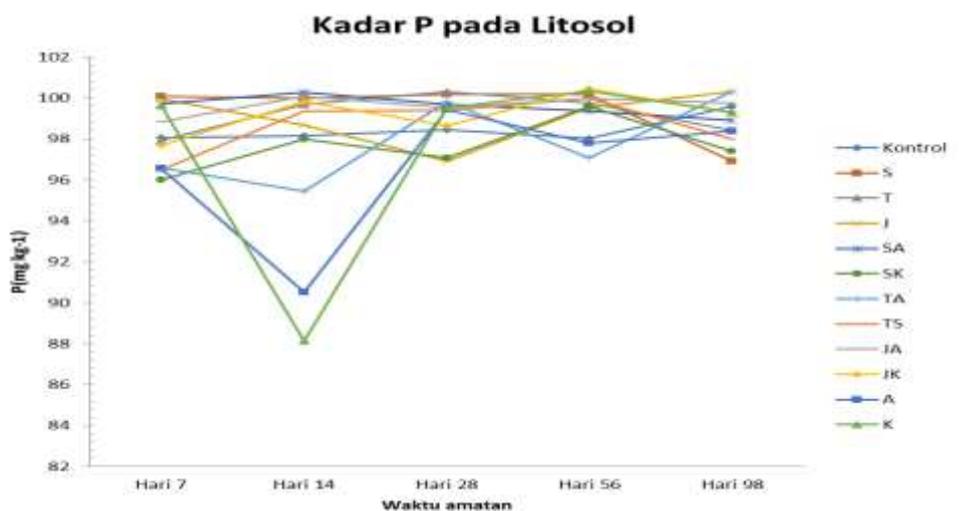
Dinamika kadar P dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar P pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 20-22. Perubahan kadar P meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar P cenderung tetap kecuali pada perlakuan pupuk kandang dan kompos yang melonjak turun kemudian naik pada inkubasi 14 hari (litosol). Kadar P meningkat sampai 56 hari dan menurun sampai 98 hari (mediteran). Kadar P cenderung tetap sampai 56 hari dan menunjukkan peningkatan ataupun penurunan pada 98 hari (regosol).

Tabel 49. Kadar P masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

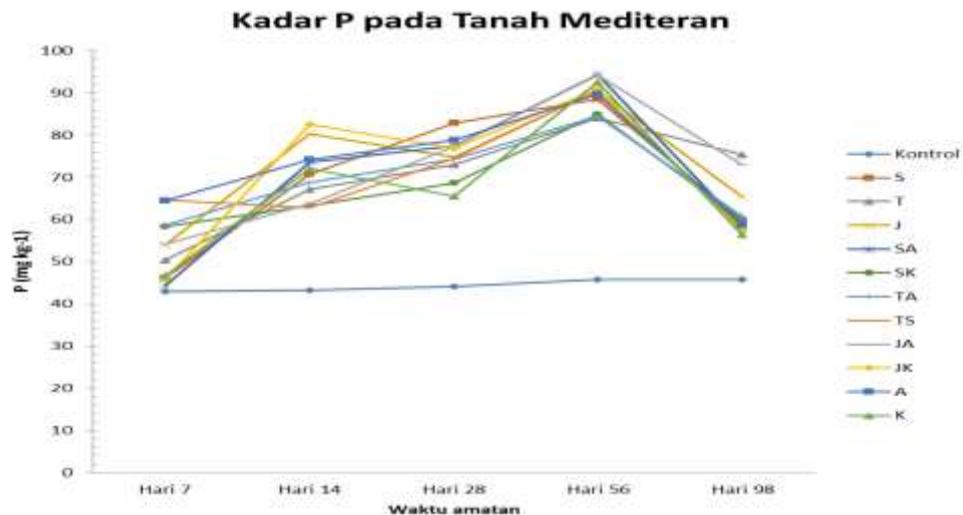
Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	4.514	0.073	a	3.805	0.028	a	1.604	0.063	a
S	76.482	1.351	i	11.362	0.052	b	5.313	0.170	c
T	39.626	0.701	g	22.363	0.061	e	14.653	0.323	g
J	15.197	0.876	c	41.828	0.037	g	7.357	0.160	d
SA	15.372	0.502	c	45.871	0.110	h	22.688	0.806	i
SK	40.027	1.101	g	21.736	0.229	de	3.200	0.281	b
TA	22.427	0.639	d	40.183	0.087	g	9.036	0.067	e
TK	25.513	1.600	f	15.237	0.253	c	12.032	0.075	f
JA	24.103	1.154	e	80.162	0.120	j	22.330	0.452	h
JK	46.607	0.500	h	20.537	0.101	d	5.587	0.282	c
A	13.502	0.610	b	67.518	0.063	i	28.202	0.948	j
K	13.495	0.539	b	25.579	0.130	f	13.043	0.124	f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

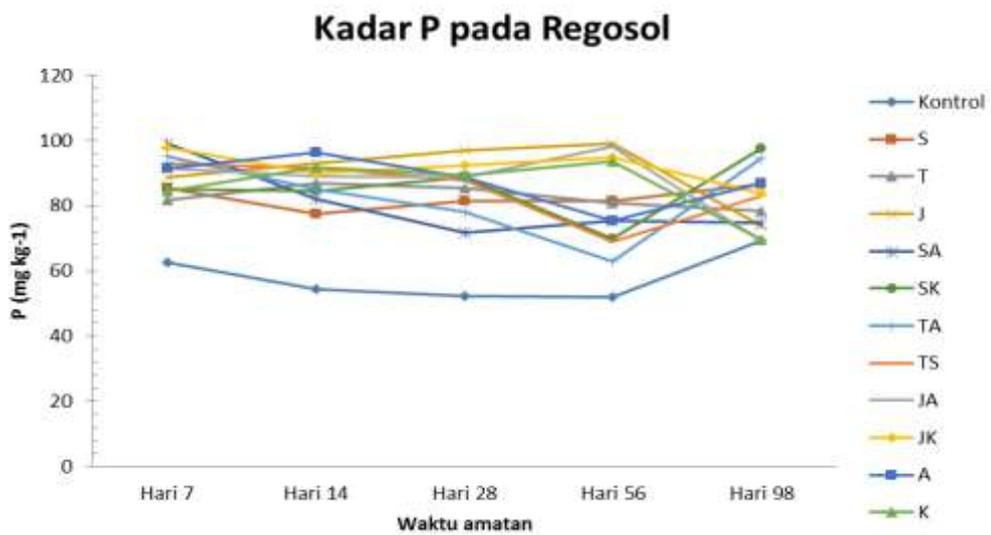
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 20. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah litosol



Gambar 21. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah mediteran



Gambar 22. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar P tanah regosol

6.1. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Kalium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 49, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 50-54.

Tabel 50. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Tabel 49 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha (=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar K tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar K pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 50-54.

Hari 7

Setiap jenis biochar mengandung kalium yang berbeda jumlahnya. Kadar K biochar sekam $<$ biochar tongkol $<$ biochar jengkok. Biochar memiliki kadar kalium yang lebih tinggi daripada pupuk organik. Kadar K dari pupuk kandang ayam $>$ kompos. Inkubasi selama 7 hari telah menunjukkan perubahan kadar K dalam tanah penelitian. Pada awal penelitian ketiga jenis tanah memiliki kadar K sebesar 0,34-0,36 me/100g. Semua perlakuan meningkatkan kadar K. Perlakuan kompos menghasilkan kadar K tertinggi pada regosol dan mediteran, namun pada litosol pada perlakuan biochar jengkok maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam. Kadar K pada kompos paling rendah sedangkan biochar jengkok paling tinggi dibandingkan biochar maupun pupuk kandang ayam. Oleh karenanya pemberian kompos hanya menunjukkan kadar K tertinggi di awal inkubasi. Ketiga jenis biochar mengandung kalium yang berbeda tetapi menunjukkan kadar K yang sama pada tanah mediteran saat inkubasi 7 hari. Hal ini berbeda dengan dua jenis tanah lainnya, kadar K dalam tanah regosol dan

litosol sebanding dengan banyaknya K dalam biochar. Selanjutnya kadar K bervariasi dengan jenis tanah dan pemberian biochar-pupuk organik.

Tabel 51. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	a	0.367	0.006	a	0.250	0.010	a
S	0.900	0.033	b	1.279	0.063	b	0.880	0.016	b
T	1.631	0.084	cd	2.204	0.616	cd	0.719	0.065	b
J	1.852	0.068	d	3.082	0.055	f	0.935	0.068	b
SA	1.342	0.052	c	1.901	0.134	c	0.976	0.006	bc
SK	0.927	0.137	b	1.856	0.127	c	1.044	0.129	bc
TA	1.476	0.167	cd	2.398	0.033	d	1.782	0.015	d
TK	1.871	0.459	d	2.780	0.166	ef	1.832	0.104	d
JA	1.647	0.136	cd	2.929	0.208	f	1.948	0.467	d
JK	1.740	0.135	cd	2.414	0.385	de	1.798	0.046	d
A	1.892	0.267	d	2.395	0.347	de	1.335	0.309	c
K	2.490	0.489	e	2.790	0.234	ef	2.483	0.245	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. ** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Kadar K ketiga jenis tanah meningkat dengan aplikasi biochar-pupuk organik. Biochar jengkok menunjukkan kadar K tertinggi pada regosol mulai 14 hingga 56. Biochar tongkol yang dicampur kotoran ayam merupakan perlakuan tertinggi pada tanah mediteran pada inkubasi 14 hari. Pada litosol terdapat empat perlakuan yang menghasilkan kadar K yang sama, yaitu aplikasi biochar tongkol tunggal maupun yang dicampur pupuk organik, biochar jengkok yang dicampur kotoran ayam. Pada inkubasi 14 hari, pemberian campuran biochar dan pupuk organik cenderung memberikan kadar K yang lebih banyak daripada pemberian secara tunggal pada ketiga jenis tanah.

Tabel 52. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	a	0.367	0.006	a	0.250	0.010	a
S	0.730	0.015	d	0.928	0.024	c	0.604	0.008	b
T	0.577	0.014	b	1.851	0.046	i	1.270	0.044	e
J	1.859	0.062	j	1.250	0.032	f	1.078	0.015	d
SA	0.974	0.018	e	0.746	0.005	b	0.758	0.019	c
SK	0.664	0.004	c	1.683	0.007	h	0.977	0.015	d
TA	1.606	0.004	h	1.869	0.024	i	1.501	0.098	h
TS	1.120	0.118	f	1.856	0.054	i	1.453	0.071	g
JA	1.643	0.006	i	1.853	0.036	i	1.352	0.029	f
JK	1.078	0.043	f	1.175	0.010	e	1.034	0.135	j
A	0.989	0.009	e	1.466	0.015	g	1.258	0.010	e
K	1.599	0.017	g	1.035	0.013	d	1.951	0.030	i

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah. ** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Pada 28 hari inkubasi, kadar K terbaik dari biochar tongkol yang tidak berbeda dengan biochar jengkok pada regosol. Pada litosol, perlakuan biochar tongkol juga menunjukkan kadar K tertinggi, tetapi berbeda pada tanah mediteran. Tanah mediteran menunjukkan kadar K tertinggi pada perlakuan pupuk kandang ayam.

Tabel 53. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	a	0.367	0.006	a	0.250	0.010	a
S	0.828	0.102	c	0.931	0.047	b	0.672	0.066	b
T	1.279	0.233	e	2.010	0.010	g	0.773	0.099	bc
J	1.264	0.177	e	1.463	0.238	ef	0.882	0.042	cd
SA	0.663	0.047	b	0.958	0.059	b	1.153	0.011	ef
SK	0.838	0.020	c	1.132	0.032	bc	0.679	0.114	b
TA	1.061	0.030	d	1.494	0.096	ef	0.950	0.046	d
TS	0.925	0.085	cd	1.336	0.108	de	1.030	0.043	de
JA	1.060	0.034	d	1.251	0.028	cd	1.092	0.082	de
JK	1.050	0.030	d	1.673	0.055	f	1.165	0.018	ef
A	1.065	0.035	d	1.215	0.016	cd	1.325	0.051	g
K	1.123	0.010	de	1.114	0.006	bc	1.241	0.033	fg

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Seperti inkubasi sebelumnya, biochar jengkok menghasilkan kadar K tertinggi. Kadar K tertinggi dari perlakuan biochar tongkol dicampur pupuk kandang ayam (litosol) serta pupuk kandang ayam (mediteran).

Tabel 54. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 51

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	a	0.367	0.006	a	0.250	0.010	a
S	0.769	0.036	b	0.910	0.011	b	0.635	0.015	c
T	1.328	0.010	i	1.487	0.021	g	0.757	0.004	d
J	1.540	0.053	j	1.672	0.012	i	0.984	0.014	h
SA	0.975	0.031	c	0.968	0.040	b	0.655	0.031	c
SK	1.035	0.022	d	0.955	0.022	b	0.544	0.041	b
TA	1.161	0.036	e	1.759	0.011	j	0.915	0.015	f
TS	1.076	0.026	d	1.159	0.036	d	0.774	0.015	e
JA	1.288	0.024	h	1.370	0.045	f	0.954	0.025	g
JK	1.177	0.024	f	1.083	0.031	c	0.913	0.012	f
A	1.022	0.070	d	1.585	0.017	h	1.075	0.023	i
K	1.225	0.071	g	1.290	0.018	e	0.954	0.012	g

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Pada akhir pengamatan (98 hari), aplikasi biochar dan pupuk organik masih meningkatkan kadar K dalam tanah. Perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam menghasilkan kadar K tertinggi pada regosol dan litosol. Perlakuan biochar tongkol yang dicampur pupuk kandang ayam menghasilkan kadar K terbanyak pada tanah mediteran.

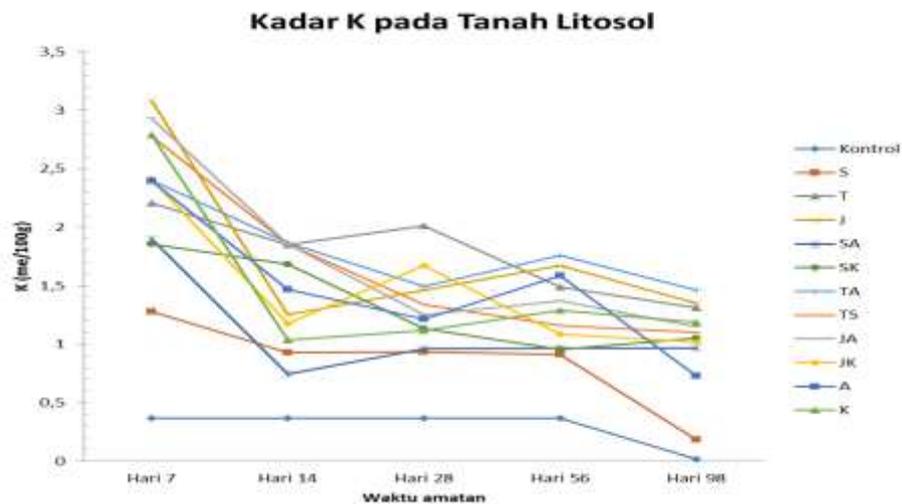
Dinamika kadar K dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar K pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 23-25. Perubahan kadar K meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan dan umur pengamatan. Secara umum kadar K memiliki kecenderungan menurun dari awal hingga akhir pengamatan.

Tabel 55. Kadar K masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98

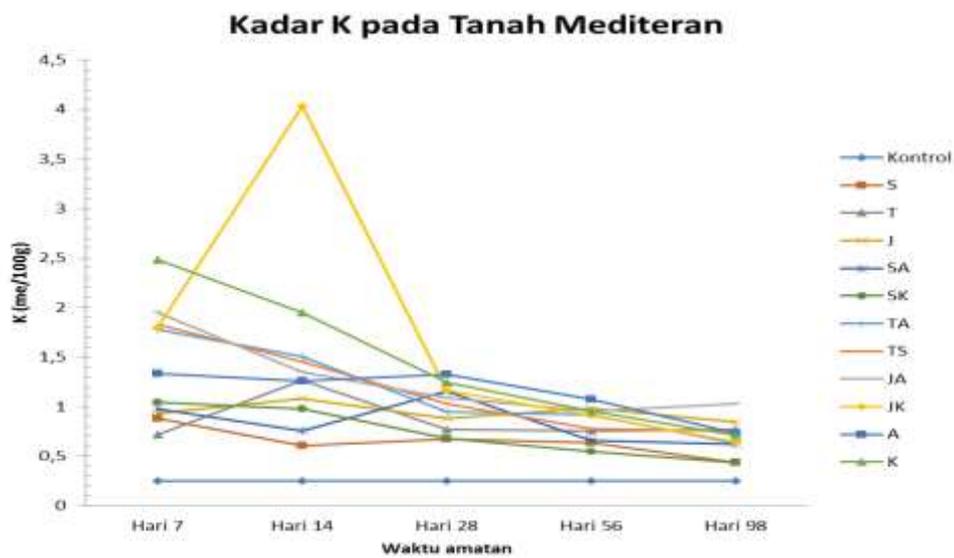
Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.302	0.063	b	0.018	0.007	a	0.251	0.037	a
S	0.915	0.063	f	0.183	0.006	b	0.433	0.021	b
T	0.984	0.014	f	1.309	0.027	g	0.770	0.053	d
J	0.880	0.030	e	1.346	0.035	h	0.846	0.057	e
SA	0.794	0.031	d	0.966	0.051	d	0.618	0.025	c
SK	1.153	0.045	g	1.049	0.053	ef	0.439	0.052	b
TA	1.223	0.070	h	1.463	0.042	i	0.629	0.055	c
TS	0.936	0.077	f	1.099	0.074	ef	0.754	0.025	d
JA	1.001	0.008	f	1.151	0.086	f	1.031	0.065	f
JK	0.822	0.043	e	1.020	0.010	de	0.641	0.056	c
A	0.254	0.060	a	0.727	0.071	c	0.733	0.050	d
K	0.608	0.085	c	1.185	0.125	f	0.707	0.080	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

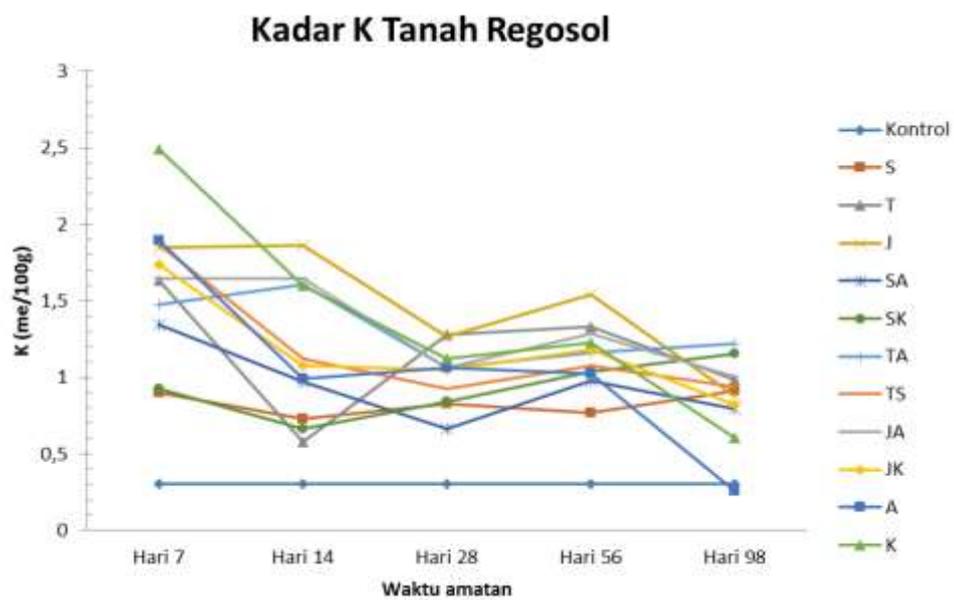
** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$



Gambar 23. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah litosol



Gambar 24. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah mediteran



Gambar 25. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar K tanah regosol

6.2. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Calcium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Kadar abu dari biochar sekam > biochar jengkok > biochar tongkol. Kadar abu dari biochar termasuk konstituen anorganik (kalsium, magnesium dan karbonat anorganik) setelah semua unsur organik (karbon, hidrogen dan nitrogen)

diungkapkan (Joseph *et al.*, 2009). Sumber bahan baku dan kondisi pirolisis telah terbukti mempengaruhi kadar abu anorganik dari biochar, yang pada gilirannya dapat mempengaruhi akhir potensi penggunaan (Kookana *et al.*, 2011). Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 55, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 56-60.

Tabel 55 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama (jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha(=0.05)$ maka jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar Ca tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar Ca pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 56-60.

Tabel 56. Hasil analisis nested design

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Hari 7

Inkubasi 7 hari telah menunjukkan bahwa pemberian biochar dan pupuk organik menaikkan kadar Ca pada tanah regosol dan litosol. Semua perlakuan menunjukkan kenaikan kadar Ca yang sama pada tanah regosol, sebesar 78% dari 5,14% menjadi 9,14%. Kenaikan kadar Ca pada litosol dan mediteran bervariasi tidak seperti pada regosol saat 7 hari inkubasi. Aplikasi kompos meningkatkan kadar Ca tertinggi pada litosol. Pada tanah mediteran, kenaikan kadar Ca yang sama dari perlakuan biochar sekam maupun jengkok yang dikombinasi pupuk organik, biochar tongkol yang dicampur kompos, serta pupuk kandang ayam. Pemberian kompos pada tanah mediteran belum meningkatkan kadar Ca pada inkubasi 7 hari.

Tabel 57. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.140	0.165	a	22.367	0.115	A	12.236	0.191	a
S	9.451	0.001	b	26.519	1.354	B	14.098	1.312	ab
T	8.885	0.473	b	27.560	1.202	bc	14.154	3.593	ab
J	8.311	0.229	b	29.040	0.036	cd	15.830	1.584	bc
SA	8.379	1.731	b	28.843	1.730	bc	16.790	1.235	c
SK	9.523	0.969	b	26.067	0.291	B	16.735	0.631	c
TA	9.047	1.372	b	24.620	2.996	ab	13.895	0.946	ab
TS	10.020	2.209	b	23.803	0.452	ab	17.348	2.490	c
JA	8.539	1.103	b	29.617	1.605	cd	15.606	0.693	c
JK	10.335	0.612	b	30.935	0.909	cd	16.312	1.025	c
A	9.614	0.000	b	29.090	0.658	cd	15.171	3.047	c
K	8.386	0.153	b	31.987	2.354	D	12.538	1.913	a

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Setelah 14 hari inkubasi, biochar dan pupuk organik menunjukkan variasi kadar Ca pada ketiga jenis tanah. Pemberian biochar jengkok meningkatkan kadar Ca di ketiga jenis tanah. Kenaikan kadar Ca sebesar 111% (regosol); 34% (litosol); dan 55% (mediteran) pada 14 hari inkubasi. Kadar Ca dari litosol (25,83 me/100g) > mediteran (12,44 me/100 g) > regosol (5,14 me/100g). Peningkatan kadar Ca tertinggi dari aplikasi biochar jengkok pada tanah dengan kadar Ca yang terendah. Meskipun kenaikan tertinggi pada regosol dari perlakuan pupuk kandang ayam (131%) dan pada tanah litosol dari perlakuan kombinasi biochar jengkok dan kompos (48%). Aplikasi kombinasi biochar sekam dan pupuk organik menunjukkan kadar Ca yang lebih tinggi daripada hanya menambahkan biochar sekam pada ketiga jenis tanah. Hal ini karena pupuk organik (pupuk kandang ayam dan kompos) memiliki kadar Ca yang lebih tinggi daripada biochar sekam.

Tabel 58. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.140	0.165	a	22.767	0.153	s	13.464	0.027	a
S	8.506	0.300	c	23.700	0.100	b	15.313	0.199	c
T	9.865	0.200	de	26.867	0.651	d	14.873	0.695	b
J	10.828	0.148	f	30.467	0.651	g	20.913	0.160	h
SA	9.547	0.105	de	27.567	0.058	e	17.254	0.547	e
SK	10.043	0.252	ef	24.537	0.557	c	18.507	0.460	f
TA	7.511	0.230	b	26.533	0.448	d	16.234	0.051	d
TS	9.700	0.031	d	28.717	0.289	f	14.644	0.551	b
JA	9.438	0.115	d	30.000	0.265	g	14.451	0.493	b
JK	10.679	0.372	ef	33.687	0.824	h	18.232	0.122	f
A	11.880	0.151	g	29.073	0.239	f	19.131	0.069	g
K	9.369	0.241	d	27.797	0.150	e	18.799	0.188	f

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Pada inkubasi 28 hari, kadar Ca tertinggi pada regosol diperoleh dari perlakuan biochar jengkok maupun biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam. Kadar Ca tertinggi pada litosol dari perlakuan pupuk kandang ayam kemudian diikuti campuran biochar jengkok dan pupuk kandang ayam serta kompos. Kadar Ca tertinggi pada tanah mediteran dari perlakuan biochar tongkol dan kompos.

Tabel 59. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.140	0.165	a	22.833	0.306	a	13.493	0.050	a
S	8.704	0.191	ef	26.430	0.185	d	22.767	0.306	ef
T	7.612	0.290	cd	26.867	0.136	d	22.800	0.300	f
J	10.230	0.010	g	29.537	0.609	f	22.923	0.194	f
SA	6.823	0.045	b	28.457	0.260	e	19.900	0.346	c
SK	8.210	0.066	de	23.333	0.153	b	19.633	0.961	c
TA	8.262	0.060	de	30.420	0.079	f	22.133	0.681	e
TS	8.513	0.084	ef	28.480	0.200	e	24.223	0.561	g
JA	10.507	0.095	g	31.667	0.416	g	21.000	0.624	d
JK	7.646	0.222	cd	24.477	0.473	c	22.833	0.252	f
A	8.924	0.079	f	32.612	0.586	h	19.600	0.624	c
K	7.467	0.306	c	31.147	0.060	g	18.863	0.679	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Sampai inkubasi 56 hari, semua perlakuan masih meningkatkan kadar Ca pada ketiga jenis tanah. Biochar jengkok memberikan kenaikan kadar Ca tertinggi pada regosol dan mediteran. Khususnya tanah mediteran, kadar Ca dari perlakuan biochar jengkok tidak berbeda dengan perlakuan biochar tongkol. Tidak demikian pada litosol, kadar Ca tertinggi dari perlakuan biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang ayam.

Tabel 60. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.140	0.165	a	22.833	0.306	a	13.493	0.050	a
S	8.704	0.191	ef	26.430	0.185	d	22.767	0.306	ef
T	7.612	0.290	cd	26.867	0.136	d	22.800	0.300	f
J	10.230	0.010	g	29.537	0.609	f	22.923	0.194	f
SA	6.823	0.045	b	28.457	0.260	e	19.900	0.346	c
SK	8.210	0.066	de	23.333	0.153	b	19.633	0.961	c
TA	8.262	0.060	de	30.420	0.079	f	22.133	0.681	e
TS	8.513	0.084	ef	28.480	0.200	e	24.223	0.561	g
JA	10.507	0.095	g	31.667	0.416	g	21.000	0.624	d
JK	7.646	0.222	cd	24.477	0.473	c	22.833	0.252	f
A	8.924	0.079	f	32.612	0.586	h	19.600	0.624	c
K	7.467	0.306	c	31.147	0.060	g	18.863	0.679	b

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Inkubasi 98 hari, kadar Ca tertinggi pada regosol dari perlakuan pupuk kandang ayam. Pemberian biochar jengkok, campuran biochar sekam dan pupuk kandang, serta campuran biochar jengkok dan kompos memberikan kadar Ca yang sama pada litosol. Kadar Ca tertinggi pada tanah mediteran dari perlakuan biochar jengkok yang dicampur pupuk kandang.

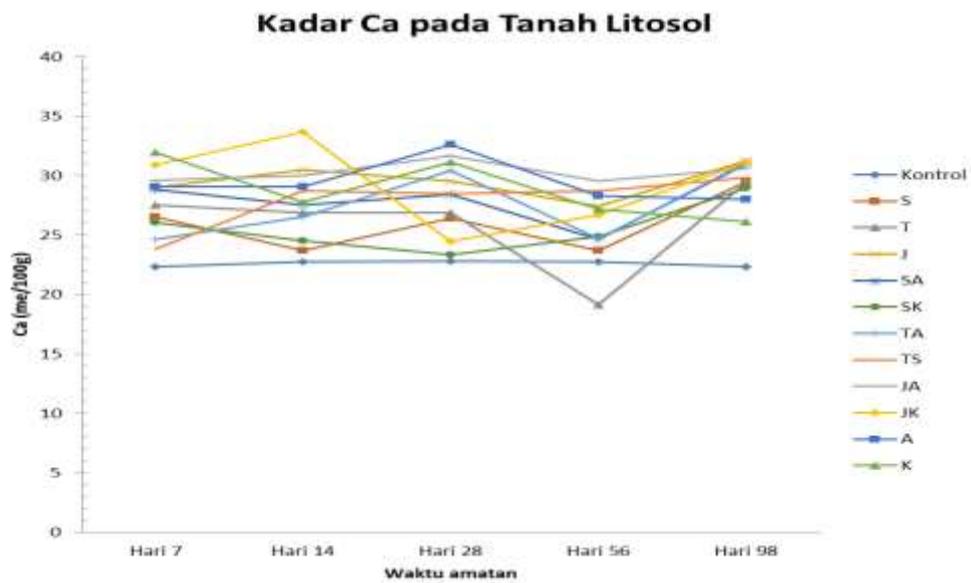
Tabel 61. Kadar Ca masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	5.100	0.400	a	22.333	0.503	a	13.493	0.050	b
S	9.056	1.272	b	29.473	0.444	cd	18.788	0.619	e
T	10.967	0.907	d	29.403	0.613	cd	19.093	1.053	e
J	10.272	0.842	cd	31.267	0.666	e	16.469	0.667	d
SA	10.092	0.901	cd	31.060	0.131	e	16.524	1.515	d
SK	12.944	0.404	e	28.970	0.130	c	12.445	0.599	a
TA	12.526	0.613	e	30.970	0.966	de	14.414	0.632	c
TS	9.284	0.377	bc	29.817	0.511	cd	15.541	0.707	cd
JA	8.875	0.238	bc	30.620	0.338	de	23.389	1.354	f
JK	8.287	0.401	b	31.133	0.321	e	16.512	0.571	d
A	16.470	0.894	f	28.000	0.964	c	16.604	0.433	d
K	8.312	0.376	b	26.150	1.143	b	15.961	0.404	d

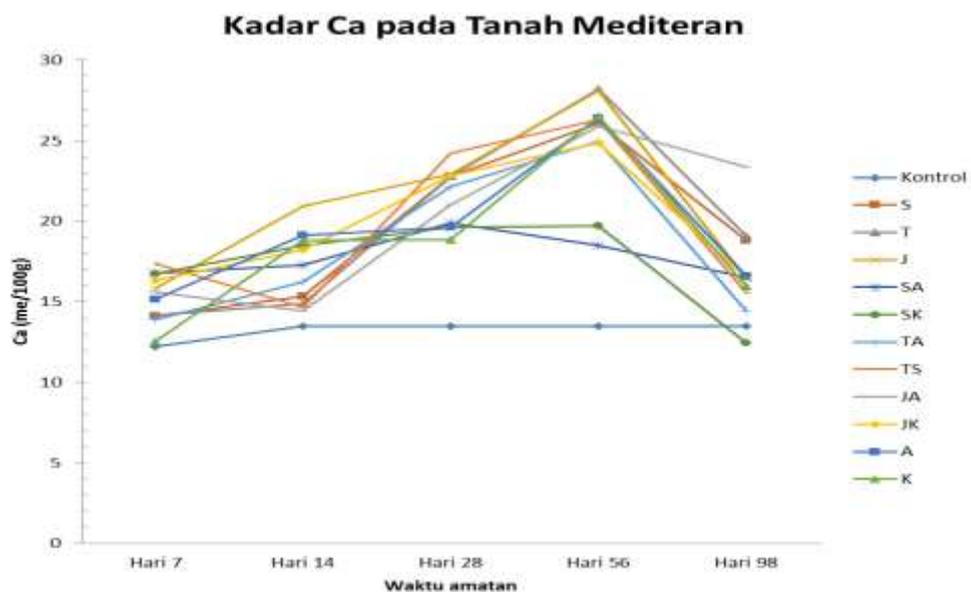
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

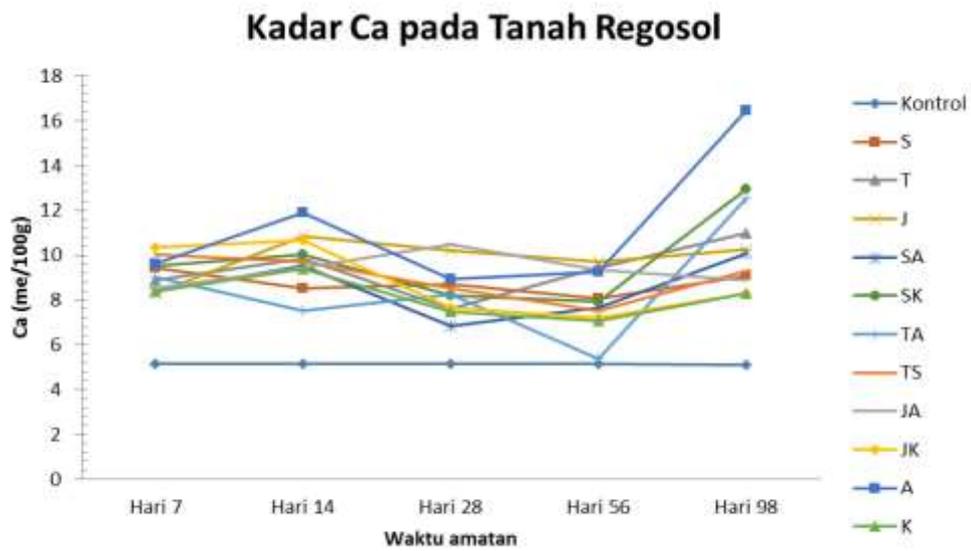
Dinamika kadar Ca dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar Ca pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 26-28. Perubahan kadar Ca meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan. Secara umum dari awal hingga akhir pengamatan, kadar Ca cenderung tetap (litosol), meningkat sampai 56 hari dan menurun sampai 98 hari (mediteran), dan cenderung tetap sampai 56 hari dan menunjukkan peningkatan sampai 98 hari (regosol).



Gambar 26. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah litosol



Gambar 27. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah mediteran



Gambar 28. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Ca tanah regosol

6.3. Pengaruh biochar dan pupuk organik terhadap kadar Magnesium pada tanah litosol, mediteran, dan regosol

Tanah yang digunakan pada penelitian ini mengandung magnesiumium (Mg) yang berbeda. Sebelum perlakuan diberikan (awal penelitian), kadar Mg pada tanah mediteran > litosol > regosol. Kadar Mg dalam biochar jengkok > biochar tongkol > biochar sekam. Sedangkan kadar Mg dari kompos > pupuk kandang ayam. Unsur Ca dan Mg biasa dikaitkan dengan kemasaman tanah. Kemasaman tanah sebelum penelitian (pH H₂O) dari litosol, regosol, dan mediteran masing-masing sebesar 6,4; 5,7; dan 5,3. Setelah aplikasi biochar dan pupuk organik terjadi perubahan nilai pH mulai 7 – 98 hari. Pada 7 hari inkubasi, pH tanah meningkat berkisar 6,2 – 6,4 (regosol); 6,8 – 7,2 (litosol); dan 6,0 – 6,4 (mediteran).

Magnesium merupakan unsur yang terlibat pada reaksi enzimatik dan unsur pembentuk klorofil. Magnesium penting untuk banyak fungsi tanaman, seperti fotosintesis (Mg adalah elemen sentral klorofil), aktivasi enzim, sintesis gula, kontrol serapan hara, dan banyak lainnya. Hasil analisis dengan nested design disajikan pada Tabel 61, sedangkan uji lanjut dengan DMRT disajikan pada Tabel 52 - 56. Tabel 51 menunjukkan nilai signifikan pada faktor pertama

(jenis tanah), faktor kedua (biochar dan pupuk organik pada jenis tanah) serta biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah. Nilai signifikan (<0.001) $< \alpha(=0.05)$ sehingga jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap kadar Mg tanah pada berbagai umur pengamatan. Hasil uji DMRT kadar Mg pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 62-66.

Tabel 62. Hasil analisis nested design kadar Mg pada inkubasi 7 – 98 hari

Sumber Keragaman	Hari 7	Hari 14	Hari 28	Hari 56	Hari 98
Jenis tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Regosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Litosol	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001
Biochar dan pupuk organik pada tanah Mediteran	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

Hari 7

Pemberian biochar dan pupuk organik meningkatkan kadar Mg di ketiga jenis tanah pada inkubasi 7 hari. Perlakuan biochar tongkol dan pupuk kandang ayam memberikan kadar Mg tertinggi pada ketiga jenis tanah. Khususnya tanah mediteran perlakuan terbaik juga dari aplikasi biochar tongkol yang dicampur kompos.

Tabel 63. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 7 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.584	0.340	a	0.210	0.020	a	0.274	0.030	a
S	2.697	0.944	b	3.393	0.593	e	4.020	0.348	cd
T	2.814	0.144	b	1.593	0.323	bcd	4.313	0.557	cde
J	4.678	0.400	cd	1.037	0.197	ab	6.978	0.638	f
SA	4.403	0.434	cd	1.293	0.051	abc	3.287	0.403	cd
SK	2.756	0.491	b	1.570	0.266	bcd	5.122	0.314	d
TA	5.103	0.562	d	5.176	0.586	f	8.500	1.690	g
TS	4.281	0.860	cd	3.222	0.663	e	8.424	2.384	g
JA	4.204	1.158	cd	2.443	0.499	cde	7.048	0.875	f
JK	2.914	0.837	b	1.360	0.460	abc	3.014	0.632	c
A	2.477	0.161	cd	2.653	0.238	de	2.644	1.588	b
K	3.231	0.225	bc	0.685	0.249	ab	5.570	0.976	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah.

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 14

Kadar Mg pada inkubasi hari ke-14 menunjukkan bahwa setiap perlakuan memberikan kadar Mg yang berbeda pada ketiga jenis tanah. Perlakuan terbaik pada regosol diperoleh dari aplikasi biochar jengkok yang tidak berbeda dengan pemberian kompos. Perlakuan terbaik pada litosol diperoleh dari aplikasi biochar tongkol yang tidak berbeda dengan aplikasi biochar sekam yang dicampur kompos. Perlakuan terbaik pada mediteran diperoleh dari aplikasi biochar sekam yang dicampur pupuk kandang. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 63.

Tabel 64. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 14 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.340	0.017	a	0.210	0.020	a	0.274	0.030	a
S	0.745	0.056	b	2.252	0.043	e	6.177	0.272	d
T	1.316	0.179	c	3.029	0.024	f	5.667	0.551	c
J	2.321	0.079	d	0.834	0.200	b	6.367	0.379	de
SA	0.338	0.065	a	1.081	0.027	bc	8.433	0.709	g
SK	0.790	0.200	b	3.399	0.349	f	2.023	0.006	b
TA	1.450	0.128	c	1.822	0.169	d	7.733	0.404	f
TS	0.156	0.000	a	0.727	0.038	b	7.633	0.252	f
JA	0.293	0.030	a	1.870	0.032	d	6.600	0.173	e
JK	1.078	0.068	bc	1.437	0.108	c	6.433	0.252	de
A	0.877	0.033	b	0.805	0.020	b	6.333	0.115	de
K	2.120	0.102	d	1.424	0.096	c	6.667	0.379	e

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 28

Sampai inkubasi hari ke-28, pemberian biochar dan pupuk organik memberikan peningkatan kadar Ca yang berbeda pada masing-masing jenis tanah. Perlakuan kompos merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan kadar Mg pada regosol dan litosol. Khususnya litosol, perlakuan kompos tidak berbeda dengan perlakuan biochar sekam yang dicampur kompos. Sedangkan pada tanah mediteran, perlakuan pupuk kandang ayam merupakan perlakuan terbaik untuk meningkatkan kadar Mg. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 64.

Tabel 65. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 28 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.340	0.017	a	0.210	0.020	a	0.274	0.030	a
S	0.569	0.079	ab	0.603	0.065	b	3.177	0.022	f
T	2.616	0.195	e	1.200	0.012	c	1.719	0.040	cd
J	1.257	0.025	c	1.611	0.081	d	0.910	0.103	b
SA	1.586	0.055	cd	0.667	0.065	b	4.306	0.105	g
SK	0.858	0.105	b	2.627	0.081	e	1.533	0.666	cd
TA	1.484	0.030	cd	0.824	0.073	bc	1.433	0.306	c
TS	1.337	0.126	c	0.600	0.020	b	1.400	0.265	c
JA	0.832	0.073	b	0.822	0.058	bc	3.214	0.099	f
JK	1.642	0.035	d	1.903	0.011	d	2.538	0.154	e
A	0.612	0.084	ab	0.703	0.031	b	5.533	1.021	h
K	3.214	0.090	f	2.665	0.048	e	1.856	0.027	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 56

Pada inkubasi ke-56 hari menunjukkan perbedaan kadar Mg pada setiap jenis tanah dengan aplikasi biochar dan pupuk organik. Kadar Mg tertinggi pada regosol dan mediteran dari perlakuan biochar sekam yang dicampur pupuk kandang sedangkan pada litosol dari perlakuan biochar jenkok yang dicampur kompos. Hasil uji DMRT pada masing-masing tanah disajikan pada Tabel 65.

Tabel 66. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 56 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.274	0.030	a	0.210	0.020	a	0.274	0.030	a
S	0.257	0.012	a	0.498	0.016	c	0.945	0.005	b
T	0.768	0.042	c	0.320	0.010	b	1.363	0.015	d
J	0.827	0.040	d	0.437	0.006	c	1.154	0.005	c
SA	2.059	0.038	i	0.640	0.010	d	11.060	0.036	j
SK	0.309	0.009	a	0.837	0.068	ef	7.204	0.090	h
TA	0.907	0.021	e	0.808	0.022	e	1.836	0.041	f
TS	0.720	0.026	c	0.789	0.020	e	1.623	0.020	e
JA	0.643	0.021	b	0.907	0.015	g	2.491	0.010	g
JK	1.899	0.050	h	0.980	0.010	h	5.296	0.005	i
A	1.233	0.042	g	0.881	0.016	fg	0.907	0.015	b
K	1.067	0.031	f	0.696	0.041	d	1.374	0.015	d

*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

Hari 98

Di akhir pengamatan (98 hari), kadar Mg tertinggi pada regosol dari perlakuan biochar sekam dan pada tanah mediteran dari perlakuan biochar sekam yang dicampur dengan pupuk kandang. Kadar Mg tertinggi pada litosol dari perlakuan pupuk kandang yang dicampur dengan biochar sekam maupun biochar jengkok dan juga pemberian kompos.

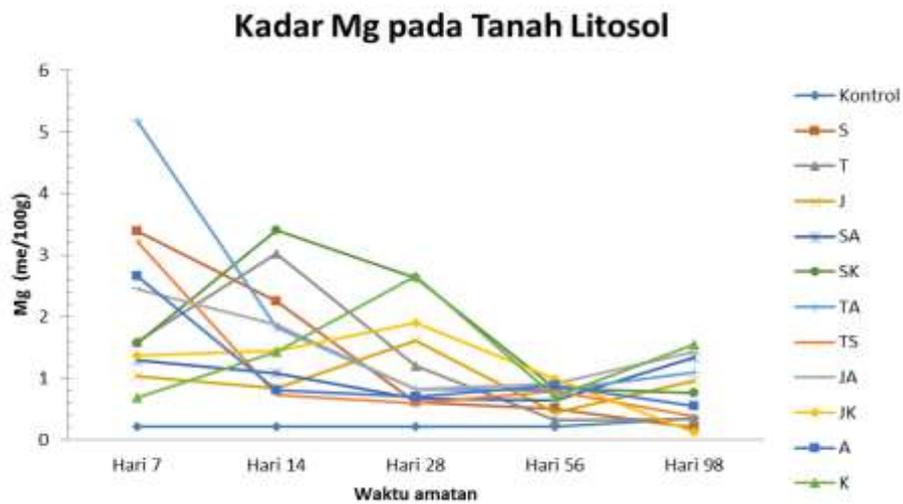
Tabel 67. kadar Mg masing-masing jenis tanah pada inkubasi 98 hari

Perlakuan	Regosol			Litosol			Mediteran		
Kontrol	0.299	0.012	a	0.347	0.025	ab	0.274	0.030	a
S	3.736	0.210	e	0.200	0.010	a	2.067	0.055	d
T	0.149	0.017	a	0.330	0.010	ab	4.995	0.014	i
J	0.633	0.075	b	0.957	0.038	de	3.089	0.029	f
SA	0.239	0.113	a	1.331	0.053	f	5.359	0.145	j
SK	0.307	0.088	ab	0.753	0.085	cd	4.906	0.105	i
TA	1.437	0.055	d	1.093	0.179	e	4.554	0.397	h
TS	1.522	0.109	d	0.373	0.012	ab	3.504	0.352	g
JA	0.305	0.100	a	1.430	0.056	f	1.131	0.138	c
JK	1.067	0.050	c	0.127	0.021	a	2.878	0.158	e
A	0.100	0.010	a	0.552	0.069	bc	2.068	0.224	d
K	1.468	0.048	d	1.553	0.049	f	1.073	0.032	b

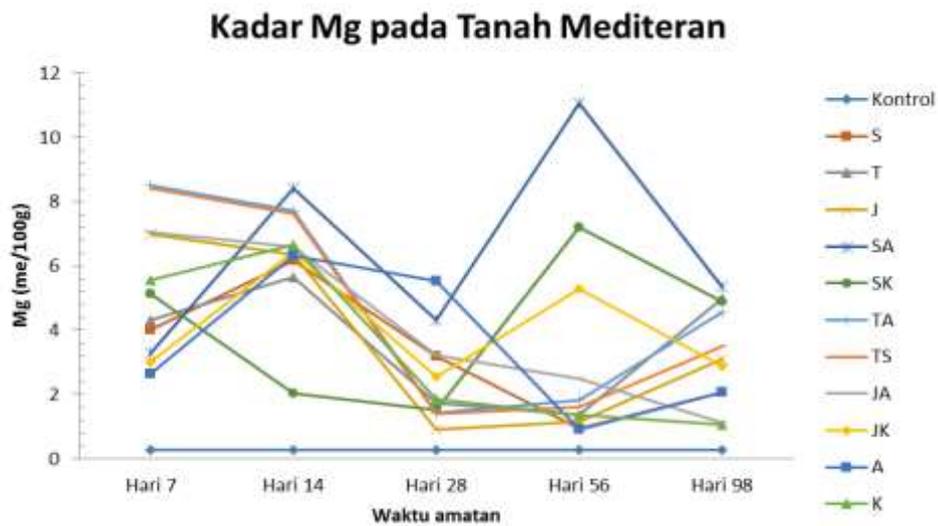
*Notasi yang berbeda menunjukkan perbedaan antar jenis pupuk pada masing-masing tanah

** Uji DMRT dengan $\alpha=5\%$

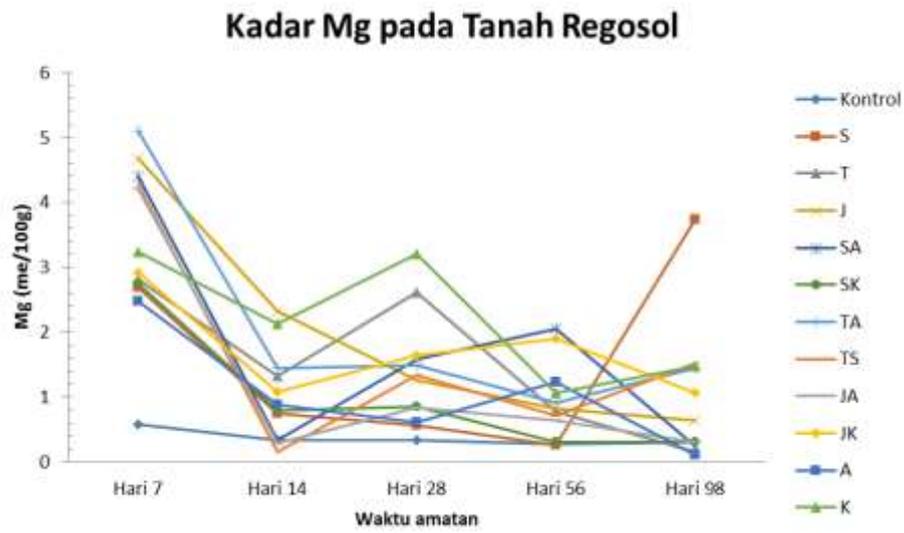
Dinamika kadar Mg dalam tanah setelah perlakuan diamati dari waktu ke waktu. Kadar Mg pada masing-masing jenis tanah disajikan pada Gambar 29-31. Perubahan kadar Mg meningkat, menurun, ataupun tetap berhubungan dengan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah. Setiap jenis tanah menunjukkan tren peningkatan dan penurunan yang berbeda sesuai dengan perlakuan dan umur pengamatan. Secara umum kadar Mg memiliki kecenderungan meningkat pada awal inkubasi (7 hari), selanjutnya kadar Mg bisa meningkat atau menurun hingga akhir pengamatan.



Gambar 29. Pengaruh biochar dan pupuk organic terhadap kadar Mg pada tanah litosol



Gambar 30. Pengaruh biochar dan pupuk organic terhadap kadar Mg pada tanah mediteran



Gambar 31. Pengaruh biochar dan pupuk organic terhadap kadar Mg pada tanah regosol

BAB VI

RENCANA TAHAPAN BERIKUTNYA

PENGARUH BIOCHAR-PUPUK ORGANIK TERHADAP HASIL JAGUNG PADA BEBERAPA JENIS TANAH DI LAHAN KERING

Penelitian tahun kedua merupakan penelitian yang dilakukan di lapangan untuk mempelajari pengaruh biochar-pupuk organik pada beberapa jenis tanah. Penelitian yang akan dilakukan menggunakan tanaman indikator supaya pengaruh perlakuan dapat dilihat pada pertumbuhan dan hasil tanaman.

Percobaan dengan menggunakan Rancangan Tersarang, Faktor pertama adalah jenis tanah dan faktor kedua adalah biochar-pupuk organik yang tersarang pada faktor pertama. Faktor pertama meliputi tiga jenis tanah yang digunakan seperti pada penelitian tahun pertama, yaitu 1. Mediteran, 2. Litosol, 3. Regosol. Faktorial kedua meliputi 12 perlakuan, yaitu::

1. Kontrol
2. Biochar sekam padi (BS)
3. Biochar tongkol jagung (BT)
4. Biochar jengkok tembakau (BJ)
5. Biochar sekam padi-kotoran ayam (BSA)
6. Biochar sekam padi-kompos (BSK)
7. Biochar tongkol jagung-kotoran ayam (BTA)
8. Biochar tongkol jagung-kompos (BTK)
9. Biochar jengkok tembakau-kotoran ayam (BJA)
10. Biochar jengkok tembakau-kompos (BJK)
11. Kompos (K)
12. Kotoran ayam (A)

Setiap perlakuan diulang 3 kali dan setiap perlakuan disediakan 7 tanaman sampel sehingga terdapat $12 \times 7 \times 3 \times 3 = 756$ polibag. Biochar dan pupuk organik yang digunakan masih sama seperti penelitian tahun pertama. Cara aplikasi juga sama pada penelitian sebelumnya. Setelah inkubasi 7 hari akan dilakukan penanaman jagung dengan varietas BISI 2.

Pengamatan pertumbuhan meliputi tinggi tanaman, diameter batang, luas daun, berat kering total tanaman. Luas daun dan berat kering total tanaman diamati pada akhir pertumbuhan vegetatif. Biomasa tanaman diperoleh dengan menimbang sampel tanaman yang telah dikeringkan dalam oven pada temperatur 70°C selama 2 x 24 jam. Pengamatan produksi meliputi komponen hasil dan hasil jagung. Selain pengamatan pertumbuhan dan hasil tanaman, juga dilakukan pengamatan terhadap sifat tanah yang akan dilakukan pada tiga kali pengamatan, yaitu pada 7 hari setelah aplikasi biochar dan pupuk organik, saat vegetatif maksimum, dan panen.

Pengamatan terhadap sifat kimia meliputi N, P, K, Ca, Mg, S. Data dianalisis dengan menggunakan program software SPSS versi 13.0. Analisis ragam dalam sesuai rancangan yang digunakan dan dilanjutkan dengan uji DMRT untuk melihat perbedaan diantara perlakuan.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1. KESIMPULAN

1. Jenis tanah maupun biochar-pupuk organik pada masing-masing jenis tanah (regosol, mediteran, litosol) berpengaruh signifikan terhadap sifat fisik dan kimia tanah pada berbagai umur pengamatan.
2. Penggunaan biochar-pupuk organik secara tunggal maupun campuran menunjukkan perubahan sifat fisik dan kimia yang berbeda pada masing-masing jenis tanah.
3. Kenaikan awal bahan organik tanah pasir berlempung terjadi pada hari ke-14 sedangkan pada tanah liat pada hari ke-7, yakni dari 0,7% menjadi 2,5% (regosol) dan dari 1,6% menjadi 3,9% (litosol) dan dari 1,1% menjadi 2,0% (mediteran).
4. Bahan organik tanah regosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau pada hari ke-14 sampai ke-56, selanjutnya dari campuran biochar tongkol jagung dan kompos pada hari ke-98.
5. Bahan organik tanah litosol tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau, biochar tongkol jagung, maupun campuran biochar jengkok dan kompos pada waktu-waktu tertentu.
6. Bahan organik tanah mediteran tertinggi dari pemberian biochar jengkok tembakau maupun biochar tongkol jagung dari waktu ke waktu.
7. Inkubasi 7 hari terbaik untuk meningkatkan nilai KTK dari ketiga tanah.
8. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan pupuk kandang ayam terbaik untuk meningkatkan nilai KTK tanah litosol.
9. Ketiga jenis biochar yang masing-masing dicampur dengan kompos terbaik untuk meningkatkan nilai KTK mediteran.
10. Penggunaan biochar jengkok dan biochar tongkol secara tunggal dan biochar sekam padi yang dicampur pupuk kandang ayam yang terbaik untuk meningkatkan KTK pada tanah regosol.
11. Kadar K yang tertinggi pada biochar jengkok belum tentu memberikan kontribusi kalium yang terbanyak pada suatu jenis tanah pada suatu waktu.

Biochar jengkok akan meningkatkan kadar kalium tanah terbesar pada litosol (7 hari), regosol (14-56 hari).

12. Kemampuan biochar melepas N lebih lambat dibanding pupuk organik dan jenis tanah mempengaruhi kecepatan pelepasan N dari bahan organik.
13. Campuran biochar jengkok dan kompos menunjukkan peningkatan kadar N tanah litosol yang lebih lama (14 hari) dibanding perlakuan lainnya.
14. Peningkatan kadar N tanah regosol lebih bertahan lama dengan biochar jengkok (42 hari) dibanding pupuk kandang ayam (7 hari). Peningkatan kadar N tanah mediteran lebih bertahan lama dengan kompos (42 hari) dibanding perlakuan lainnya.
15. Pada awal inkubasi, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan pupuk kandang sebesar 13,6 kali lipat (regosol) dan 23,3 kali lipat (mediteran). Berbeda pada litosol, peningkatan kadar P tanah tertinggi dari perlakuan biochar tongkol+pupuk kandang sebesar 7,9 kali lipat (kontrol).
16. Kadar P tertinggi pada mediteran dari perlakuan pupuk kandang selama 98 hari regosol berlangsung hingga 56 hari, sedangkan mediteran berlangsung pada 14 hingga 56 hari.
17. Pada 14 hari inkubasi, pemberian biochar jengkok meningkatkan kadar Ca pada ketiga jenis tanah.
18. Biochar sekam padi tertinggi untuk menurunkan bobot isi tanah dan meningkatkan porositas tanah regosol. Kombinasi biochar dengan pupuk organik maupun hanya pupuk kandang ayam lebih baik daripada hanya dengan biochar untuk menurunkan bobot isi tanah litosol. Biochar tongkol, kombinasi biochar sekam dengan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar jengkok dengan kompos, serta pupuk kandang ayam menurunkan bobot isi tanah mediteran yang sama.
19. Biochar sekam terendah untuk menurunkan bobot isi tanah regosol. Penurunan bobot isi tanah litosol dari kombinasi biochar dan pupuk organik lebih besar daripada hanya menerapkan biochar, berturut-turut 16% dan 7%. Pada tanah mediteran, semua perlakuan menurunkan bobot isi tanah sebesar 17-26%.

20. Bobot partikel tanah dapat ditingkatkan dengan pemberian kombinasi biochar dan pupuk kandang ayam. Jenis biochar yang digunakan akan menentukan kenaikan bobot partikel dari ketiga jenis tanah. Semua perlakuan yang diterapkan belum cukup signifikan menurunkan bobot partikel dan porositas tanah regosol. Bobot partikel tanah litosol tertinggi jika pupuk kandang ayam dikombinasi dengan biochar tongkol jagung ataupun dengan biochar jengkok. Bobot partikel tanah mediteran tertinggi dari kombinasi biochar jengkok dengan pupuk kandang ayam.
21. Penurunan porositas tanah regosol terbaik dengan pupuk kandang ayam. Kombinasi biochar tongkol dengan pupuk kandang ayam meningkatkan porositas tanah litosol terbesar (14%) sedangkan kombinasi biochar jengkok dengan kompos meningkatkan porositas tanah mediteran tertinggi (21%).
22. Pori makro meningkat hampir 3 kali lipat dengan biochar jengkok yang dikombinasi kompos pada mediteran. Pori makro meningkat 21-24% jika menggunakan kombinasi pupuk kandang ayam dengan biochar sekam ataupun biochar tongkol pada litosol. Akan tetapi pori makro menurun 21% hanya dengan pupuk kandang ayam pada regosol.
23. Penurunan pori meso pada tanah liat ditentukan oleh jenis biochar maupun kombinasinya dengan pupuk organik. Penurunan pori meso tertinggi diperoleh pada perlakuan biochar jengkok pada tanah litosol dan biochar sekam dan tongkol pada tanah mediteran. Jenis biochar menentukan perubahan pori meso pada tanah liat. Biochar jengkok dapat menurunkan pori meso sebesar 56% dari 11,5% menjadi 5,0%. Pori meso menurun masing-masing 33% dan 49% dari 17,4% menjadi 11,7% (biochar tongkol) dan 8,7% (biochar sekam padi) pada litosol. Penggunaan biochar dan pupuk organik pada tanah berpasir dapat meningkatkan pori meso sebesar 28,4% dari 9,6% menjadi 13,4%.
24. Penggunaan biochar dan pupuk organik belum mampu meningkatkan pori mikro pada tanah regosol. Penurunan pori mikro terbesar sebesar 25% dari perlakuan kombinasi biochar jengkok dengan kompos serta pupuk kandang ayam pada tanah mediteran. Pori mikro berkurang 12% dari perlakuan kombinasi biochar sekam padi dengan pupuk kandang ayam, kombinasi biochar tongkol dengan pupuk kandang ayam, dan kombinasi biochar jengkok

dengan kompos pada tanah litosol. Penggunaan kombinasi biochar jengkok dan kompos maupun yang hanya menggunakan pupuk kandang ayam menurunkan pori mikro sebesar 25,4% dari 28,3% menjadi 21,1% pada mediteran.

7.2. SARAN

Penelitian inkubasi biochar dalam rumah kaca masih perlu dilanjutkan di tingkat lapangan dengan menggunakan tanaman indikator agar pengaruhnya pada tanaman terlihat.

DAFTAR PUSTAKA

- Ammu, P and S. Anitha (2015). Production and characterisation of biochar from different organic materials. *Journal of Tropical Agriculture*. 53 (2), pp. 191-196.
- Asai H, Samson BK, Stephan HM, Songyikhangsuthor K, Homma K, Kiyono Y, Inoue Y, Shiraiwa T, and Horie T (2009). Biochar amendment techniques for upland rice production in Northern Laos 1. Soil physical properties, leaf SPAD and grain yield. *Field Crops Research*. 111, pp. 81–84.
- Atkinson, C.J., J.D. Fitzgerald, and N.A. Higgs (2010). Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil*. 337, 1–18.
- Baldock, J.A. and Smernik, R.J. (2002). Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Organic Geochemistry* 33:1093-1109.
- Biederman, LA and Harpole S (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *Journal of Global Change Biology*. 5. pp. 202-214.
- Brady NC and Weill RR (2004). *Elements of the Nature and Properties of Soils* 2nd Ed. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River NJ. pp. 111-112.
- Chan KY, Van Zweiten L, Meszaros I, Downie A and Joseph S (2007). Assessing the agronomic values of contrasting char materials on Australian hardsetting soil. *Proceedings of the Conference of the International Agrichar Initiative*. Australia, Terrigal NSW.
- Chan, K.Y., Van Zwieten, L., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S. (2007). Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Aust J Soil Res* 45:629–634.
- Cheng, C.H., Lehmann, J. and Engelhard, M.H. (2008). Natural oxidation of black carbon in soils: Changes in molecular form and surface charge along a climosequence. *Geochimica Et Cosmochimica Acta* 72: 1598-1610.
- DeLuca, T.H., Derek, M., MacKenzie, J. And Gundale, M.J. (2009). Biochar effect on soil nutrient transformation. *Earthscan Publisher*. P 251-270.
- Downie A, Crosky A and Munroe P (2009). Physical properties of biochar. In *Biochar for environmental management science and technology* Eds. J Lehmann and S Joseph. Earthscan, London. Sterling VA, pp. 13-32.
- Enders A, Hanley K, Whitman T, Joseph S and Lehmann J (2012). Characterization of biochars to evaluate recalcitrance and agronomic performance. *Journal of Bioresour Technology*. 114, pp. 644-53.
- FCO [Fertilizer Control Order] (1985). *Fertilizer Association of India*. New Delhi. p. 202.
- function in soil. *Journal of Advances in Agronomy*. 105, pp. 47–82.
- Gaskin, J.W., Steiner, C, Harris, K, Das KC, Bibens, B (2008). Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Transactions of the Asabe*. 51, pp. 2061–2069.
- Glaser, B., Lehmann, J. and Zech, W. (2002). Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal a review. *Biology and Fertility of Soils* 35: 219-230.

- Hanafiah, K.A. (2005). *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Raja Grafindo Persada. Jakarta. 360 hal.
- Iswaran V, Jauhri KS and Sen A (1980). Effect of charcoal, coal and peat on the yield of moong, soybean and pea. *Journal of Soil Biol Biochemistry*. 12, pp. 191–192.
- Keiluweit M, Nico PS, Johnson MG and Kleber M (2010). Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (Biochar). *Journal of Environmental Science and Technology*. 44, pp. 1247–1253.
- Khishimoto, S. and Sigiura, G. (1985). Charcoal as a soil conditioner', Symposium on Forest Products Research International-Achievements and the Future. Pretoria, Republic of South Africa.
- Kolb TE, Agee JK, Fule PZ, McDowell NG, Pearson K, Sala A and Waring RH (2007). Perpetuating old ponderosa pine. *Journal of Forest Ecology and Management*. 249, pp. 141–157.
- Laird, DA (2008). The Charcoal Vision: A Win Win Win Scenario for Simultaneously Producing Bioenergy, Permanently Sequestering Carbon, while Improving Soil and Water Quality. *Journal of Agronomy*. 100, pp. 178-181.
- Lehmann J, Matthias C, Rillig, Janice T, Caroline A, Masiello, William CH and Crowley D (2011). Biochar effects on soil biota a review. *Journal of Soil Biology & Biochemistry*. 43, pp. 1812-1836.
- Lehmann, J. (2009). Terra preta Nova—where to from here?, in W. I.Woods, W.G.Teixeira, J. Lehmann, C. Steiner and A.WinklerPrins (eds) *Terra preta Nova: A Tribute to Wim Sombroek*, Springer, Berlin, p 473–486.
- Lehmann, J. and Rondon, M. (2006). Biochar soil management on highly weathered soils in the humid tropics. In: Uphoff N (Ed). *Biological approaches to sustainable soil systems*. Boca Ratont, FL: CRC Press.
- Lehmann, J., da Silva, J.J.P., Steiner, C., Nehls, T., Zech, W., Glaser, B (2003). Nutrient availability and leaching in an archaeological Anthrosol and a Ferralsol of the Central Amazon basin: fertilizer, manure and charcoal amendments. *Plant Soil*, pp. 249:343–357
- Liang, B., Lehmann, J., Solomon, D., Kinyangi, J., Grossman, J., O'Neill, B., Skjemstad, J.O., Thies, J.E., Luizao, F.J., Petersen, J. and Neves, E.G. (2006). Black carbon increases cation exchange capacity in soils, *Soil Science Society of America Journal* 70: 1719–30.
- Manya JJ (2012). Pyrolysis for biochar purposes: a review to establish current knowledge gaps and research needs. *Journal of Environ Sciences Technology*. 46, pp. 7939 – 7954.
- Masulili, A., Utomo, W. H. dan Syekhfani. (2010). Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its Influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agriculture Science (Canada)*, 3: 25-33.
- Mikutta, R. Kieber, M., Kaiser., John, R. (2005). Review. organic matter removal from soils using hydrogen peroxide, sodium hypochloride, and disodium per- odisulfate. *Soil Science Society of America Journal* 69, 120–135.
- Muhammad, AN, Muhammad, K, Muhammad, A, Rashid, A (2014). Yield And Nutrient Composition Of Biochar Produced From Different Feedstocks At Varying Pyrolytic Temperatures. *Pak. J. Agri. Sci.*, Vol. 51(1), pp. 75-82.

- Nurida, N.L. (2006). Peningkatan Ultisol Jasinga Terdegradasi dengan pengolahan tanah dan pemberian bahan organik. Disertasi Sekolah Pascasarjana, IPB.
- Nurida, N.L., Sutono, A. Dariah, dan A. Racman. (2009). Efikasi formula pembenah tanah biochar dalam berbagai bentuk serbuk dalam meningkatkan kualitas lahan kering masam terdegradasi.
- Ogawa, M. (2006). Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. P 133-146.
- Oguntunde PG, Abiodun BJ, Ajayi AE and Van de Giesen N (2008). Effects of charcoal production on soil physical properties in Ghana. *Journal of Plant Nutrient and Soil Science*. 171, pp. 591–596.
- Pan GX, Zhou P, Li ZP, Smith P, Li LQ, Qiu DS, Zhang XH, Xu XB, Shen SY and Chen XM (2009). Combined inorganic or organic fertilization enhances N efficiency and increases rice productivity through organic carbon accumulation in a rice paddy from the Tai Lake region, China. *Journal of Agriculture Ecosystem Environmental*. 131, pp. 274-280.
- Purakayastha, T.J., Pathak, H. and Savita, K (2013). Effect of feedstock on characteristics of biochar and its impact on carbon sequestration in soil. In: *Proceedings of National seminar on current environmental challenges and possible solutions, 15-16 February 2013, University of Delhi*, pp 74-75.
- Puziy, A.M., Poddubnaya, A.M. Alonso, F.S. Garcia, dan J. M. D. Tascon. (2003). Synthetic Carbons Activated With Phosphoric Acid III Carbon Prepared in Air. *Cabon* 41: 1181-1191.
- Rondon, M., Lehmann, J., Ramirez, J., Hurtado, M. (2007). Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with bio-char additions. *Biol Fert Soils* 43: 699–708
- Rondon, M., Ramirez, A. and Hurtado, M. (2004). Charcoal additions to high fertility ditches enhance yields and quality of cash crops in Andean hillsides of Columbia, CIAT Annual Report Cali, Colombia
- Santi, L.P. dan D.H. Goenadi. (2012). Pemanfaatan biochar asal cangkang kelapa sawit sebagai bahan pembawa mikroba pemantap agregat. *Buana Sains* 12 (1) : 7-13.
- Satari, G., Sadjad, S dan Sastroedardjo. (1977). Pendayagunaan tanah kering untuk budidaya tanaman pangan menjawab tantangan tahun 2000. Kongres agronomi, perhimpunan agronomi Indonesia. Jakarta
- Sohi SP, Krull E, Lopez CE and Bol R (2010). A review of biochar and its use and function in soil. *Journal of Advances in Agronomy*. 105, pp. 47–82.
- Soil Survey laboratory Methods Manual (2014). United States Department of Agriculture.
- Soil Survey laboratory Methods Manual (2014). United States Department of Agriculture.
- Steiner C, Teixeira WG, Lehmann J, Nehls T, De Mace^ do JLV, Blum WEH and Zech W (2007). Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Journal of Plant and Soil*. 291, pp. 275–290.
- Steiner, C., Das, K.C., Garcia, M., Foerster, B. and Zech, W. (2008). Charcoal and smoke extract stimulate the soil microbial community in a highly weathered xanthic Ferralsol, *Pedobiologia*, 51(5-6): 359-366.
- Sudjana, B. (2014). Pengaruh biochar dan npk majemuk terhadap biomas dan

- serapan nitrogen di daun tanaman jagung (*zea mays*) pada tanah typic dystrodepts. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*. 3 (1): 63-66.
- Sukartono dan Utomo (2012). Peranan biochar sebagai pembenah tanah pada pertanaman jagung di tanah lempung berpasir semiarid tropis Lombok Utara. *Buana Sains*, vol 12 no1, pp. 91-98.
- Sukartono, W.H.Utomo, Z. Kusuma and W.H. Nugroho. (2011). Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar application on sandy soils of Lombok, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture* 49: 47-52.
- Sutono dan F. Agus. (1998). Pengaruh pembenah tanah terhadap hasil kedelai di Cibugel, Sumedang. *Hlm. 107 -122 dalam Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat Maklah Review*. Cisarua, Bogor 4-6 Maret 1997. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat.
- Sutono, S dan Neneng, L.N. (2012). Kemampuan biochar memegang air pada tanah bertekstur pasir. *Buana Sains* 12 (1): 45-52.
- Suwardji, Wani, H.U., Sukartono. (2012). Kemantapan agregat setelah aplikasi biochar di tanah lempung berpasir pada pertanaman jagung di lahan kering Kabupaten Lombok Utara. *Buana Sains* 12 (1): 61-68.
- Srinivasarao, Ch., Gopinath, K. A., Venkatesh, G., Dubey, A. K., Wakudkar, H., Purakayastha, T. J., Pathak, H., Jha, P., Lakaria, B. L., Rajkhowa, D.J., Sandip Mandal, Jeyaraman, S., Venkateswarlu, B. and Sikka, A. K. (2013). Use of biochar for soil health management and greenhouse gas mitigation in India: Potential and constraints, Central Research Institute for Dryland Agriculture, Hyderabad, Andhra Pradesh, 51p.
- Tambunan, S., Eko, H., Bambang, S. (2014). Pengaruh aplikasi bahan organik segar dan biochar terhadap ketersediaan P dalam tanah di lahan kering Malang Selatan. *Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 1 (1): 89-98.
- Topoliantz, S, Ponge, J.F. and Ballof, S. (2005). Manioc peel and charcoal: a potential organik amendment for sustainable soil fertility in the tropics. *Biology and Fertility of Soils* 41: 15–21.
- Wardle DA, Zackrisson O and Nilsson MC (1998). The charcoal effect in boreal forests: Mechanisms and ecological consequences. *Oecologia*. 115, pp. 419–426.
- Widowati and Asnah. (2014). Biochar can Enhance Potassium Fertilization Efficiency and Economic Feasibility of Maize Cultivation. *Journal of Agricultural Science*. 6 (2): 24-32.
- Widowati and Asnah. (2014). Biochar Effect on Potassium Fertilizer and Leaching Potassium Doses for Two Corn Planting Seasons. *Agrivita Journal Agriculture Sciences* 36 (1): 65-71.
- Widowati, Utomo, W.H., Soehono, L.A. and Guritno, B. (2011). Effect of Biochar on the Release and Loss of Nitrogen from Urea Fertilization. *Journal of Agriculture and Food Technology*. 1: 127- 132.
- Widowati, Utomo, W.H., Guritno, B., Soehono, L.A. (2012). The Effect of Biochar on the Growth and N Fertilizer Requirement of Maize (*Zea mays* L.) in Green House Experiment. *Journal of Agricultural Science*. 4: 255 – 262.
- Widowati, W.H.Utomo, Asnah. (2014). The Use of Biochar to Reduce Nitrogen and Potassium Leaching from Soil Cultivated with Maize. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*. 2 (1): 211-218. DOI:10.15243/jdmlm.2014.021.211.

- Woolf, D. (2008). Biochar as a soil amendment: A review of the environmental implications. Swansea University, UK. [http://orgprints.org/13268/01/Biochar as a soil amendment a review.pdf](http://orgprints.org/13268/01/Biochar_as_a_soil_amendment_a_review.pdf). (Accessed on May 4, 2010).
- Yamato, M., Okimori, Y., Wibowo, I.F., Anshori, S. and Ogawa, M. (2006). Effects of the application of charred bark of *Acacia mangium* on the yield of maize, cowpea and peanut, and soil chemical properties in South Sumatra, Indonesia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 52(4): 489-495.
- Yu Ok-You.R. Brian and S. Sam (2013). Impact of biochar on the water capacity of loamy sand soil. 4:44. <http://www.journal.ijeee.com/content/4/1/44> (di download 24 Mei 2014).
- Zimmerman AR (2010). Abiotic and microbial oxidation of laboratory-produced black carbon (biochar). *Journal of Environmental Science and Technology*. 44, pp. 1295–1301.

Lampiran 1. Sertifikat Pemakalah Internasional



2. Bukti penerimaan jurnal pada publikasi internasional (Bioscience Research)

Respectable author(s),

The peer review process has been completed and reviewers endorsed your article for publication. I am pleased to inform you that your submission with Article Tracking ID **BR-1544** has been accepted (with minor changes) for publication in **Bioscience Research**. Peer review report will be provided on later stage.

Page charges are assessed for all kinds of articles to help defray publication costs. For further processing of your paper and inclusion in the coming issue, kindly send the publication cost (within 03 working days) to

“Tahira Haneef”

Faisalabad, Pakistan through **WESTRON UNION** money transfer service and send us **MTCN code no** and **Name of sender** by email.

You may also send the scan of the receipt by email.

Total payable amount for your article is **US\$ 160/-**. (**PKR 16960**)

Payment details are

Payment details	Payment
Publication cost up to 05 pages	120
Extra page charges (04 pages) @ US\$ 10/page	40
Total US\$ /-	160
Total in Pak Rupees	16960

Note: You will be provided with a PDF of your papers for unlimited off prints.

Best Regards

Managing Editor

Bioscience Research (pISSN: 1811-9506 eISSN 2218-3973)

website: www.isisn.org

Editorial Office



Pengiriman uang
To send money

WESTERN UNION MONEY TRANSFER®
Cara cepat mengirim uang ke seluruh dunia
The fastest way to send money world wide

Tujuan (kota, negara) Destination (city, country): <u>Faisalabad, Pakistan</u>		Jumlah/Amount <input type="text"/>		JANGAN MENULIS DI BAGIAN INI DO NOT WRITE THIS AREA	
Jumlah terbilang Amount in words <input type="text"/>		Agen Agency <input type="text"/>		No. Operator Operator No. <input type="text"/>	
Penerima / Receiver					
Nama depan First name (s) <u>TAHIRA</u>		Tanggal / Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>		Waktu / Time <input type="text"/>	
Nama belakang Last name (s) <u>HANEEF</u>		Nomor Transfer Money Transfer Control number <input type="text"/>		<input type="text"/>	
Alamat Address <u>FALCALABAD</u>		Kota / City <input type="text"/>		Negara / Country <input type="text"/>	
Kode Pos / Postal Code <input type="text"/>		Jumlah Amount <u>2.222.864,16</u>			
Pengirim / Sender					
Nama depan First name (s) <u>WIDOWATI</u>		Tanggal / Date <input type="text"/> / <input type="text"/> / <input type="text"/>		Waktu / Time <input type="text"/>	
Nama belakang Last name (s) <u>-</u>		Nomor Transfer Money Transfer Control number <input type="text"/>		<input type="text"/>	
Alamat Address <u>JL. SASANDD 182</u>		Kota / City <input type="text"/>		Negara / Country <input type="text"/>	
Kode Pos / Postal Code <input type="text"/>		Biaya Change <u>16</u>			
No. Telepon Telephone no. <u>(+62) 8224571400</u>		No. rek. nasabah/Preferred Customer No. <input type="text"/>		Biaya telepon/pengiriman Telephone/delivery charge <input type="text"/>	
Biaya dikenakan untuk layanan tambahan, pilih layanan yang diinginkan. Optional services available at additional cost, check services desired. <input type="checkbox"/> Saya ingin cak dikirim ke alamat berikut I want a check delivered to the following address <input type="checkbox"/> Saya ingin WU menghubungi penerima I want to WU telephone the receiver <input type="checkbox"/> Pesan yang dikirim Messages to be sent					
Apakah Penerima memiliki tanda pengenal yang berlaku? Will the Receiver have valid identification? <input type="checkbox"/> Ya <input checked="" type="checkbox"/> Tidak Yes No					
Jika lebih dari Rp. 1000.000,- diperlukan keterangan fisik Penerima If over \$ 650, a physical Description of the Receiver is needed Jenis Kelamin / Sex: <input type="checkbox"/> Perempuan <input checked="" type="checkbox"/> Laki-laki Warna Mata / Eye Color: <input type="text"/> Tinggi / Height: <input type="text"/> Warna Rambut / Hair Color: <input type="text"/>					
Tanda tangan Pengirim Customer's signature 				Tanda Tangan Agen Agent's Signature 	

E. 2012-21,5 x 16,5-250.000 sat. NCR SP/2012

Syarat dan kondisi tentang layanan yang diberikan terdapat pada halaman belakang formulir ini. Dengan menandatangani formulir ini, saya menyatakan bahwa saya telah membaca dan menerima syarat dan kondisi tersebut.
 The terms and conditions on which the services are provided are set out on the reverse side of this form. By signing this form I acknowledge that I have read, understand and accepted those terms and conditions.

WESTERN UNION SENDING RECEIPT 614814490

MTCN : 840-939-9978
 Counter : Kantor Pos MALANGUNIBRAW 651138
 Date : 12-09-2017 Time : 10:10:14
 Trx ID : 6511380-01/17/000230
 Sender ID : 651138017000231
 Sender Name : Mr. KOTOK GURITO O
 SASANDD MALANG LOWOKWARU
 KOTA MALANG 65100 / INDONESIA
 Receiv ID : 651138017000231
 Receiv Name : MR. TAHIRA HANEEF
 PAKISTAN PAKISTAN
 PAKISTAN / PAKISTAN
 Source Fund : LAINNYA
 Purpose Fund : LAINNYA
 Principal : Rp. 2,222,864.00
 Exchange Rate : 0.0076297
 Expected Payout : PKR 16,960.00
 Total Charge : Rp. 217,500.00
 Discount : Rp. 0.00
 Total Collect Amount : Rp. 2,440,364.00

Customer No : 3573052910650003
 Phone : 081233525894

Customer No :
 Phone :

Question :
 Answer :

Employee ID

ARIE SOESANTIEN



KANTOR 64211520



Syarat dan ketentuan berlaku

Lacak status : <http://www.posindonesia.co.id>

3. Submit pada Jurnal Organic Agriculture

8/10/2017

ORGA-D-17-00089 - Submission Confirmation - widwidewati@gmail.com - Gmail

Gmail

COMPOSE

ORGA-D-17-00089 - Submission Confirmation

Inbox

Starred

Important

Sent Mail

Drafts (230)

Personal

Travel

Unwanted

More

Jayson Cordero(ORGA) <em@editorialmanager.com> to me 7:44 PM (23 hours ago)

Dear Mrs. Widowati,

Thank you for submitting your manuscript, "THE SOIL ORGANIC DYNAMICS FROM TYPES BIOCHAR-ORGANIC FERTILIZERS AND SOIL", to Organic Agriculture.

The submission id is: ORGA-D-17-00089
Please refer to this number in any future correspondence.

Your username is: Widwani3
If you forgot your password, you can click the 'Send Login Details' link on the EM Login page at <http://orga.edmgr.com/>.

If you have any question, just let us know.

With kind regards,

Journals Editorial Office ORGA
Springer

Now that your article will undergo the editorial and peer review process, it is the right time to think about publishing your article as open access. With open access your article will become freely available to anyone worldwide and you will easily comply with open access mandates. Springer's open access offering for this journal is called Open Choice (find more information on www.springer.com/openchoice). Once your article is accepted, you will be offered the option to publish through open access. So you might want to talk to your institution and funder now see how payment could be organized; for an overview of available open access funding please go to www.springer.com/openchoice. Although for now you don't have to do anything, we would like to let you know about your upcoming options.

Click here to Reply or Forward

<https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/15ef6d28e609c67>

1/1