

Kode>Nama Rumpun Ilmu: 151/Ilmu Tanah  
Bidang Fokus: 1. Kemandirian Pangan

**LAPORAN AKHIR**  
**PENELITIAN Mendukung PROGRAM IDB**



**Stabilitas, efisiensi, dan rekomendasi pemberian  
biochar yang diperkaya unsur hara pada beberapa jenis  
tanah berbeda karakter**

**TIM PENGUSUL**

**Dr. Ir. Sugeng Winarso, MSi NIDN: 0022036402**  
**Ir. Marga Mandala, PhD NIDN: 0010116209**  
**Sukron Romadhona S.PD., M.I.L NRP: 760017035**

**UNIVERSITAS JEMBER**  
**Desember, 2019**

HALAMAN PENGESAHAN  
HIBAH PENDUKUNG IDB

Judul Penelitian/ Pengabdian : Stabilitas, efesiensi, dan rekomendasi pemberian biochar Limbah Tebu yang diperkaya unsur hara pada beberapa jenis tanah berbeda karakter (Lanjutan)

Nama KeRis : SOIL BIODIVERSITY AND FERTILITY (SBF)

Ketua Peneliti :

a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Sugeng Winarso, M.Si.

b. NIP./NRP. : 196403221989031001

c. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala

d. Program Studi : Fak. Pertanian/Illmu Pertanian (S3)

e. Nomor HP : 082339582790

f. Alamat surel (e-mail) : winarsosugeng@unej.ac.id

Anggota (1) :

a. Nama Lengkap : Ir. Marga Mandala, MP., Ph.D.

b. NIP./NRP. : 196211101988031001

c. Perguruan Tinggi : Universitas Jember

Anggota (2) :

a. Nama Lengkap : Sukron Romadhona S.Pd., M.I.L

b. NIP./NRP. : 760017035

c. Perguruan Tinggi : Universitas Jember

Jenis Penelitian : Penelitian Terapan

TKT : 4

Kesesuaian dengan RIP UNEJ : Tebu

Usulan Tahun ke - : 2

Biaya Keseluruhan : Rp. 60.000.000

Biaya usulan tahun berjalan :

- Dana UNEJ : Rp. 60.000.000

- Dana institusi lain : Rp. 0 / In Kind tuliskan :

**Biaya Yang Disetujui : Rp. 48.800.000**



Mengetahui,  
Sigit Soeparjono, MS., Ph.D.  
NIP. 196905061987021001

Jember, 23-10-2019  
Ketua Peneliti,

Dr. Ir. Sugeng Winarso, M.Si.  
NIP. 196403221989031001



Mengetahui,  
Ketua LPM  
Prof. Ir. Achmad Subagio, M.Agr., Ph.D.  
NIP. 196905171992011001

DAFTAR ISI

	<b>RINGKASAN .....</b>	ii
	<b>DAFTAR ISI .....</b>	iii
<b>BAB 1</b>	<b>PENDAHULUAN .....</b>	2
	Latar Belakang .....	2
	Perumusan Masalah .....	5
	Tujuan dan Manfaat Khusus .....	6
	Urgensi (Keutamaan) Penelitian .....	6
	Luaran Kegiatan Penelitian .....	7
<b>BAB 2</b>	<b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	9
	2.1 Penurunan kesehatan tanah pada lahan-lahan pertanian intensifikasi .....	9
	2.2 Potensi dan Karakteristik Biochar .....	11
	2.3 Manfaat Biochar untuk Peningkatan Kesuburan atau Kesehatan Tanah .....	14
	2.4. Karakteristik Biochar dan Pertumbuhan Kedelai (hasil penelitian tahun pertama) .....	16
	<b>ROAD MAP PENELITIAN .....</b>	18
<b>BAB 3</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	22
	1) Uji efektivitas dan stabilitas biochar kaya nutrisi terhadap perbaikan sifat tanah marginal (Ultisol) dan tidak (Inceptisol) .....	23
	2) Uji efektivitas dan efisiensi biochar kaya nutrisi terhadap sifat tanah marginal dan tidak serta pertumbuhan tanaman skala pot .....	24
	Indikator Capaian .....	26
<b>BAB 4</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN (Tahun Kedua Akhir) .....</b>	27
	4.1 Karakteristik Biochar .....	27
	4.2 Sifat Fisika Tanah .....	28
	4.3 Sifat Kimia Tanah .....	33
	4.4 Sifat Biologi Tanah .....	37
	4.5 Pertumbuhan Tanaman Kedelai .....	40
	4.6 Pertumbuhan Tanaman dalam Hubungan dengan Tanah .....	43
	4.7 Dekomposisi atau stabilitas biochar .....	44
	4.8 Efisiensi biochar diperkaya NPK terhadap serapan NPK dan berat kering tanaman kedelai .....	49
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	52
	<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	53

## Ringkasan

Penurunan bahan organik tanah secara terus menerus berdampak pada penurunan secara keseluruhan sifat-sifat tanah baik fisik, kimia dan biologi dan akhirnya akan menurunkan kesuburan atau kesehatan tanah. Biochar adalah produk reaksi pirolisis bahan organik yang mampu bertahan di dalam tanah hingga ribuan tahun (stabil) tetapi dalam bentuk segar miskin unsur hara khususnya N dan S. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah peningkatan produksi tanaman (kedelai) melalui modifikasi agronomis lahan kedelai jangka panjang dengan aplikasi biochar yang diperkaya nutrisi. Metode penelitian dilakukan secara berurutan, **tahun pertama** dilakukan 3 kegiatan di laboratorium untuk mendapatkan macam dan dosis bahan pengkayaan biochar yang efektif dalam memperbaiki sifat tanah. **Hasil tahun pertama** menunjukkan bahwa kadar unsur hara (N, P, K, Ca, dan Mg) di dalam biochar termasuk miskin atau mempunyai cadangan hara sangat rendah; selain perbandingan C/N dan C/P yang sangat tinggi atau besar (600 hingga 700) yang bisa menyebabkan proses immobilisasi jika digunakan secara langsung pada lahan telah ditanami. Akan tetapi penggunaan biochar jerami hingga  $2 \text{ kg.m}^{-3}$  dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan atau menyimpan air dalam tanah hingga menjadi sekitar 70% dan apabila diperkaya unsur hara NPK dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman sesuai dengan dosis penambahan, mengikuti persamaan:  $y = -0,54x^2 + 2,53x + 2,88$ ;  $R^2 = 0,99$  (untuk jumlah daun) dan  $y = 0,53x^2 - 0,07x + 27,02$ ;  $R^2 = 0,99$  (untuk tinggi tanaman). Berdasarkan hasil tahun pertama dan tujuan yang ingin dicapai maka metode penelitian **tahun kedua dilakukan** 2 kegiatan untuk mendapatkan biochar kaya hara dan efektif dalam meningkatkan kesehatan tanah melalui perbaikan karakteristik tanah baik fisik, kimia dan biologi, serta meningkatkan produksi tanaman (kedelai). Penelitian ini menggunakan RAK (Rancangan Acak Kelompok) faktorial yang terdiri dari 2 faktor yaitu 4 taraf untuk sumber biochar yang berbeda (B0: Biochar tanpa NPK, B1: Biochar Jerami Padi + NPK (8:5:4), B2: Biochar Limbah Kedelai + NPK, B3: Biochar Kayu + NPK) dan 4 taraf penambahan biochar yang diperkaya (D1:  $0,5 \text{ ton.ha}^{-1}$ , D2:  $2,5 \text{ ton.ha}^{-1}$ , D3:  $5,0 \text{ ton.ha}^{-1}$ , D4:  $10 \text{ ton.ha}^{-1}$ ) serta dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali, sehingga terdapat  $4 \times 4 \times 3 = 48$  satuan percobaan. Unsur hara yang digunakan untuk memperkaya adalah N, P, dan K berasal dari urea, SP36, dan KCl; sedangkan perbandingan NPK (8:5:4) yang didasarkan pada kandungan total unsur hara tersebut dalam tanaman kedelai dan kadarnya dalam biochar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan biochar yang diperkaya NPK (8:5:4) dapat memperbaiki sifat-sifat tanah masam seperti pH, C-organik, C/N, KTK, dan ketersediaan unsur hara NPK; sedangkan penambahan biochar saja (atau tanpa penambahan NPK) nyata meningkatkan pH, C/N, dan C-organik tanah. Perbaikan sifat-sifat kimia tanah dan peningkatan ketersediaan NPK tersebut dapat meningkatkan serapan NPK tanaman. Peningkatan serapan NPK tanaman kedelai ini juga diikuti dengan peningkatan berat kering tanaman yang hubungan berat kering tanaman dengan serapan N positif dan sangat nyata yaitu  $r = 0,72^{**}$ ; dan  $0,32^{ns}$  dengan serapan P, serta  $0,98^{**}$  serapan K, akan tetapi berkorelasi negatif dengan berat dan jumlah bintil akar ( $r = -0,54^*$ ). Hubungan negatif antara serapan hara khususnya N dan berat kering tanaman ini menunjukkan bahwa ketersediaan N dalam tanah (N-Total) yang sedang hingga tinggi, dapat berdampak pada penurunan aktifitas bintil akar yang ditunjukkan baik pada jumlah maupun berat bintil akar. Berdasarkan hasil penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan limbah organik (pertanian) menjadi biochar sangat menjanjikan untuk usahatani berkelanjutan sekaligus sebagai sequestrasi C dalam tanah, sehingga perlu dikembangkan terus menerus dengan mengintegrasikan berbagai bidang untuk mencapai manfaat maksimal.

**Kata kunci:** biochar, stabilitas, efisiensi, dan rekomendasi

## BAB I. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Produksi dan kualitas kedelai masih dapat ditingkatkan, karena potensi atau secara genetis hasilnya masih jauh di atas dari rata-rata hasil 2011 yaitu sekitar 1,368 ton.ha-1 (BPS, 2012). Masih rendahnya produksi kedelai ini disebabkan oleh daya dukung lahan atau tanah belum sesuai dengan yang dipersyaratkan tanaman kedelai tersebut. Salah satu faktor dominan penentu belum maksimalnya daya dukung lahan untuk produksi kedelai tersebut adalah makin merosotnya kadar bahan organik tanah. Penurunan kadar bahan organik tanah ini selanjutnya akan menurunkan secara keseluruhan sifat-sifat tanah baik fisik, kimia, maupun biologi; yang akhirnya akan menurunkan kesuburan atau kesehatan tanah dan daya sangga tanah (buffer) terhadap perubahan-perubahan.

Pengembalian sisa tanaman atau panen dan/atau pemberian kompos ke lahan untuk penanaman berbagai macam tanaman sudah dilakukan, walaupun biayanya mahal untuk mendapatkan dosis sesuai kebutuhan. Sebagian besar dosis pemberian bahan organik sangat kurang apabila dibandingkan dengan kecepatan berkurangnya oleh proses dekomposisi. Hal ini disebabkan oleh Indonesia termasuk negara tropika basah (panas dan kelembaban tinggi) yaitu faktor utama yang sangat mempengaruhi kecepatan dekomposisi bahan organik, sehingga proses dekomposisi lebih besar dibandingkan dengan penambahannya. Kondisi ini berlanjut hingga sekarang, sehingga kadar bahan organik sekitar 73% lahan pertanian di Indonesia kurang dari 2%, rendah (Las dan Setyorini, 2010). Padahal telah dinyatakan oleh banyak ahli bahwa faktor kunci menjaga kesehatan tanah adalah kadar bahan organik tanah tinggi (Levine, 2010; Subowo, 2010).

Biochar adalah produk rekayasa bahan organik kaya karbon yang dapat mempunyai sifat dan fungsi sebagai bioenergi, stabil secara kimia, karbonnya dapat bertahan di dalam tanah selama ratusan hingga ribuan tahun, mempunyai sifat-sifat berbeda dengan sumbernya, dapat menyerap senyawa beracun, dan mempunyai kemampuan menyimpan air (Lehmann, 2007; Lehmann and Joseph, 2009). Keberadaan bahan organik dari biochar ini 10 hingga 1000 kali lamanya dibandingkan dengan bahan organik tanah (Verheijen, *et al.*, 2010). Sifat-sifat baik ini menyebabkan banyak ahli saat ini meneliti dan menggunakannya sebagai bahan alternatif untuk meningkatkan kesuburan atau kesehatan tanah dengan tetap mempertimbangkan aspek lingkungan, khususnya *global warming* (Schahczenski, 2010; Levine, 2010) sehingga penggunaan biochar juga dikatakan sebagai *sesquitrition* (menyerap dan menyimpan) karbon (Steinbeiss, *et al.*, 2009). Potensi yang sangat besar biochar ini dalam memperbaiki sumberdaya alam baik tanah, air, dan udara ini menjadi sangat penting

untuk masa depan (Hugh McLaughlin, *et al.*, 2009). Demikian juga dinyatakan oleh Schahczenski (2010) bahwa biochar mempunyai potensi untuk menghasilkan pertanian berbasis energi terbarukan yang sangat dibutuhkan di tropika yang memungkinkan proses pelapukan berjalan cepat dan menjadi bahan pembenah tanah yang sangat bernilai untuk meningkatkan produktivitas tanah.

Berdasarkan proses pembuatan biochar yaitu pemanasan tinggi dalam kondisi kurang oksigen atau prosesnya disebut pirolisis, akan menyebabkan miskin unsur hara, khususnya N dan S (McLaughlin, *et al.*, 2012); selain mempunyai fungsi-fungsi menguntungkan seperti: mempunyai luas permukaan sangat luas dan dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah (Sohi, *et al.*, 2009), serta seperti telah dijelaskan di atas. Adanya kekurangan sifat di atas, penggunaan biochar langsung di lahan pertanian justru mengganggu pertumbuhan tanaman karena miskin unsur hara N dan S. Penggunaan biochar di lahan-lahan pertanian di Indonesia juga masih sangat kurang bahkan banyak petani belum tahu; demikian juga banyak ahli pertanian dan lingkungan masih belum banyak menelitinya.

Oleh karena itu, upaya-upaya meningkatkan kadar hara, khususnya N dan S, sehingga biochar menjadi kaya nutrisi sangat menjanjikan sebagai bahan untuk meningkatkan atau mempertahankan kesuburan dan kesehatan tanah jangka panjang di Indonesia (tropika basah), khususnya pada lahan-lahan penanaman kedelai untuk mencapai swasembada kedelai nasional. Keberhasilan produksi ini juga akan mudah diterapkan oleh petani secara massal karena bahan baku melimpah, mudah diaplikasikan, dan dapat meningkatkan citra pertanian yang ramah lingkungan melalui *sesquitrating* karbon. Biochar (bahan organik kaya karbon) yang stabil di dalam tanah akan menguntungkan dari aspek lingkungan karena dapat mengurangi laju pemanasan global, karena karbon banyak disimpan di dalam tanah hingga ribuan tahun, tidak berubah ke atmosfer dalam bentuk CO<sub>2</sub>.

## **Perumusan Masalah**

Lahan subur dan berkualitas untuk mendukung aktivitas pertanian jangka panjang dan berbasis energi terbarukan, khususnya untuk swasembada kedelai nasional, masih dibutuhkan dalam jumlah yang sangat luas. Lahan-lahan pertanian, khususnya intensifikasi saat ini sangat labil dan tergantung masukan dari luar, khususnya pupuk dan pestisida anorganik. Pemberian pupuk organik (kompos) dan pengembalian sisa panen terasa kurang apabila dibandingkan dengan laju dekomposisi bahan organik, sehingga kadar bahan organik tanah terus menerus turun. Pemberian sekitar 10 ton.ha<sup>-1</sup> hanya akan menambah sekitar 0,5% bahan organik tanah, padahal jumlah tersebut sudah sangat mahal sebagai bagian dari biaya usahatani. Selain itu, jumlah tersebut akan sangat cepat berkurang seiring dengan laju

dekomposisi, sehingga dampak pemberian tersebut sudah tidak berpengaruh nyata untuk musim tanam berikutnya.

Di sisi lain, biochar yang mempunyai potensi besar dalam mempertahankan status kadar bahan organik tanah tinggi, dalam jangka waktu lama, dan merupakan energi terbarukan kurang diperhatikan bahkan banyak petani belum banyak mengenal atau mengaplikasikan dalam bagian usahatani, khususnya usahatani kedelai untuk mencapai swasembada nasional. Biochar di dalam tanah mampu bertahan hingga ribuan tahun dan dari berbagai hasil penelitian sangat nyata meningkatkan kondisi fisik tanah. Akan tetapi karena dalam produksinya menggunakan panas yang tinggi, sehingga banyak unsur hara N dan S banyak yang hilang. Dalam kondisi segar biochar miskin unsur hara khususnya N dan S (tergantung bahan asal dan proses) sehingga kalau langsung digunakan pada tanaman dapat mengganggu pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, pengkayaan biochar sehingga dapat memperbaiki sifat-sifat tanah baik fisik, kimia, dan biologi sangat diperlukan dan menjanjikan.

Dengan diketemukan teknologi untuk produksi dan pengkayaan biochar tersebut akan mempunyai dampak luar biasa untuk memperbaiki sifat-sifat tanah marginal dan mempertahankan lahan-lahan subur secara jangka panjang, sehingga tanah tersebut pulih menjadi lahan-lahan produktif untuk produksi bahan pangan dan energi, khususnya untuk swasembada kedelai nasional. Hal ini secara langsung akan mendukung program ketahanan dan keamanan pangan (*food safety & security*) dengan tidak mengabaikan kelestarian lingkungan dan kearifan budaya lokal, serta akan membentuk pertanian berbasis energi terbarukan.

## **Tujuan dan Manfaat Khusus**

- 1) mendapatkan macam dan dosis pengkayaan biochar yang merupakan produk reaksi pirolisis bahan organik yang dapat bertahan di dalam tanah ratusan hingga ribuan tahun. Macam dan dosis pengkayaan didasarkan pada karakteristik aktual biochar dan kebutuhan tanaman kedelai untuk pertumbuhan dan produksi maksimal, sehingga dapat digunakan sebagai bahan untuk meningkatkan kesehatan dan kesuburan tanah jangka panjang.
- 2) mendapatkan produk dan teknik aplikasi biochar yang telah diperkaya yang efektif dalam meningkatkan kesehatan tanah melalui perbaikan karakteristik tanah baik fisik, kimia dan biologi, serta meningkatkan produksi tanaman kedelai.

## **Urgensi (Keutamaan) Penelitian**

Upaya-upaya untuk mencapai swasembada kedelai nasional masih menjadi fokus pengembangan keamanan dan ketahanan pangan saat ini. Berdasarkan kondisi aktual, ternyata ketersediaan lahan-lahan pertanian subur di Indonesia sangat rendah atau tidak cukup, karena terjadi kemerosotan sifat-sifat tanah yang mendukung kesuburan atau kesehatan tanah. Hasil evaluasi jangka panjang menunjukkan bahwa menurunnya kesuburan tanah utamanya disebabkan oleh makin rendahnya kadar bahan organik tanah. Selanjutnya, menurunnya ini disebabkan oleh laju dekomposisi bahan organik tanah pada lahan-lahan intensifikasi lebih cepat dibandingkan dengan penambahan atau pengembalian sisa panen, sehingga kadar bahan organik tanah akan terus menerus turun. Penurunannya ini berdampak pada penurunan secara keseluruhan sifat-sifat tanah baik fisik, kimia dan biologi dan akhirnya akan menurunkan kesuburan atau kesehatan tanah.

Biochar adalah produk reaksi pirolisis bahan organik yang mampu bertahan di dalam tanah hingga ribuan tahun, tetapi dalam bentuk segar miskin unsur hara khususnya N dan S. Oleh karena itu, upaya-upaya pengembangan teknologi pemanfaatan lahan, khususnya marginal, untuk meningkatkan produksi kedelai melalui modifikasi agronomis lahan kedelai jangka panjang dengan aplikasi biochar yang diperkaya nutrisi sangat perlu dan menjanjikan. Biochar mempunyai potensi untuk menghasilkan pertanian berbasis energy terbarukan yang sangat dibutuhkan di tropika yang memungkinkan proses pelapukan berjalan cepat dan menjadi bahan pembenah tanah yang sangat bernilai untuk meningkatkan produktivitas tanah. Walaupun demikian masih sangat sedikit penelitian yang ditujukan untuk mendapatkan teknologi pengelolaan lahan berbasis biochar, sehingga penggunaan biochar di lahan-lahan pertanian di Indonesia juga masih sangat kurang bahkan banyak petani belum tahu.

## **Luaran Kegiatan Penelitian**

Luaran penelitian tiga kegiatan pada tahun pertama adalah:

1. Karakteristik spesifik biochar (khususnya fisika dan kimia, yaitu kadar abu, berat isi, kadar air, pH, C-organik, C/N, N-total, P-total, S-total, basa-basa dapat ditukar (K, Na, Ca, dan Mg) dan daya netralitas.
2. Diketahui bahan dan dosis pengkaya unsur hara untuk biochar berdasarkan hasil point (indikator) 1, sehingga mempunyai sifat baik lengkap baik fisik, kimia, dan biologi.
3. Diketahui konsentrasi biochar yang dapat memenuhi harkat kualitas dan kesehatan tanah jangka panjang sesuai dengan kebutuhan kedelai secara laboratorium
4. Melibatkan minimal dua mahasiswa tingkat akhir
5. Satu publikasi di jurnal nasional terakreditasi atau internasional

## 6. Poster atau makalah publikasi/presentasi hasil penelitian

Luaran penelitian tiga kegiatan tahun kedua adalah:

1. Biochar kaya nutrisi sehingga menjadi biochar yang mempunyai sifat lengkap baik fisik, kimia dan biologi yang dapat sekaligus dapat digunakan pada lahan-lahan penanaman kedelai.
2. Diketahui efektivitas dan stabilitas fungsi biochar di dalam tanah, sehingga menjadi dasar rekomendasi periode pemberian berikutnya.
3. Didapat bahan peningkatan kesehatan tanah jangka panjang sekaligus dapat berfungsi sebagai pendukung terbentuknya pertanian berbasis energi terbarukan dan *sesquitrations* karbon (C).
4. Melibatkan minimal dua mahasiswa tingkat akhir
5. Satu publikasi di jurnal nasional terakreditasi atau internasional
6. Poster atau makalah publikasi/presentasi hasil penelitian.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penurunan kesehatan tanah pada lahan-lahan pertanian intensifikasi

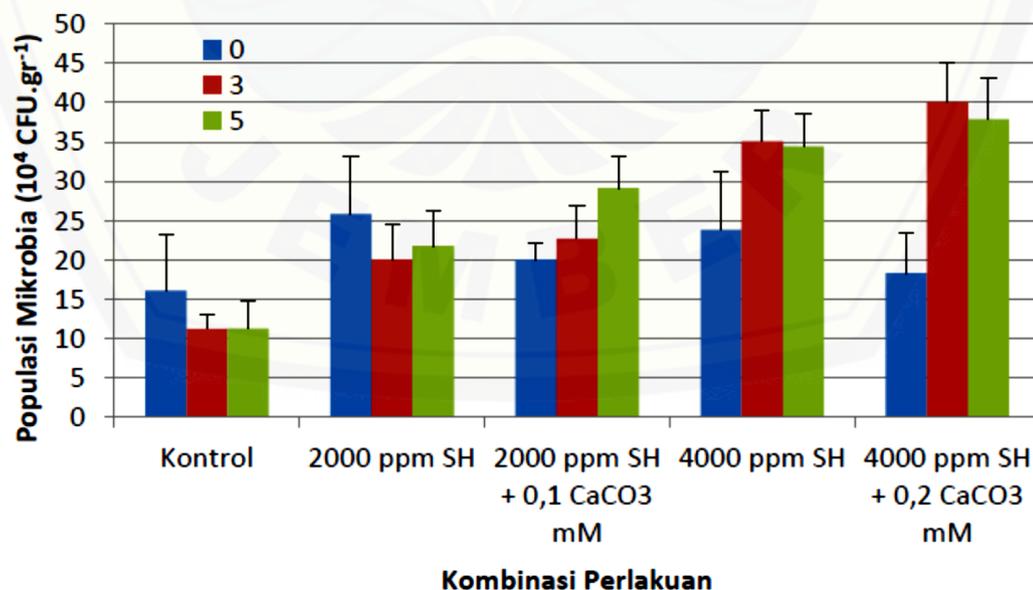
Kondisi lahan-lahan pertanian, khususnya lahan intensifikasi, di Indonesia terus menerus menunjukkan kecenderungan menjadi lebih tergantung masukan dari luar, khususnya pupuk dan pestisida. Kondisi ini menunjukkan bahwa lahan tersebut sudah tidak sehat atau subur. Berdasarkan banyak penelitian (Edwards, *et al.*, 1990) kesuburan dan kesehatan tanah sangat erat hubungannya dengan kandungan bahan organik tanah, yaitu makin rendah kadarnya makin tidak subur atau tidak sehat. Kondisi rendahnya sebagian besar lahan di Indonesia ini dinyatakan oleh Las dan Setyorini (2010) yang menyatakan bahwa sekitar 73% lahan pertanian di Indonesia memiliki kandungan C-organik tanah <2,00% (rendah). Selanjutnya, dampak rendahnya kandungan bahan organik tanah yang rendah ini adalah menurunkan hampir seluruh sifat-sifat tanah yang mendukung kesuburan atau kesehatan tanah (Winarso, 2012). Hal ini seperti ditunjukkan oleh Kariada dan Aribawa (2009) yang menyatakan bahwa pemberian pupuk organik tidak berpengaruh nyata terhadap hasil gabah kering panen; sedangkan Kasno *et al.* (2009) menyatakan bahwa pemberian pupuk kandang sebanyak 10 ton.ha<sup>-1</sup> tidak meningkatkan produksi tanaman. Sudriatna dan Subowo (2007) juga mendapatkan bahwa pengaruh residu bahan organik yang diberikan sebanyak 5 ton.ha<sup>-1</sup> pada tanaman tomat selama empat bulan di Bogor sudah tidak berpengaruh nyata terhadap pertumbuhan kacang hijau yang ditanam pada musim berikutnya.

Kejadian-kejadian tersebut di atas sangat erat hubungannya dengan rendahnya kadar bahan organik tanah (Edwards, *et al.*, 1990). Rendahnya bahan organik ini bukan disebabkan oleh rendahnya pemberian, tetapi utamanya disebabkan oleh proses dekomposisi bahan organik yang terjadi di tropika basah (Indonesia) sangat cepat (Levine, 010). Indonesia yang mempunyai rata-rata temperatur tahunan 27,5oC dan curah hujan 2000–3000 mm.tahun<sup>-1</sup>, dan kelembaban nisbi 78,85% akan memungkinkan proses pelapukan bahan organik berjalan cepat, sehingga sebagian besar praktek pemberian bahan organik tanah ke lahan tidak cukup untuk mempertahankan pada tingkat sedang hingga tinggi.

Berdasarkan Lehmann and Joseph (2009) tanah subur yang ditunjukkan oleh bahan organik tinggi (berwarna hitam) dalam satu gram mengandung sekitar satu milyar bakteri per gram, sekitar 100 juta aktinomisetes, dan fungi, mikroalga, protozoa serta nematode dengan jumlah yang makin sedikit. Dalam 1 m<sup>2</sup>, ada cacing sekitar 300 ekor. Gambaran di atas merupakan kondisi yang luar biasa di dalam tanah dan apabila dirawat akan memberikan dan menjaga kesehatan dan produktivitas tanah yang luar biasa juga.

Ahli Alloway (1990) banyak menjelaskan tentang polutan logam berat dalam tanah pertanian, selain itu juga menjelaskan bahwa sebagian besar budidaya padi atau 73 persen memilih menggunakan pupuk anorganik dan 27 persen sisanya menggunakan pupuk organik. Pupuk anorganik jenis urea berada di peringkat pertama, yang disusul oleh phonska, dan fosfat. Untuk pemakaian pupuk organik, mayoritas petani menggunakan pupuk kandang dan disusul dengan pupuk kompos. Penggunaan pupuk, khususnya anorganik urea dan SP36, terus meningkat baik jumlah pupuk sesuai dengan makin meningkatnya luasan penanaman tanaman padi mapun dosis atau takaran per satuan luas. Berdasarkan data BPS (2010) luas panen padi di Indonesia tahun 2008 sebesar 12.327.425 ha; 2009 seluas 12.883.576; dan 2010 seluas 13.253.450 Ha atau selama 2008 hingga 2010 meningkat sekitar 7% atau 926.025 ha. Peningkatan luas penan tanaman padi ini secara otomatis meningkatkan jumlah pupuk anorganik tersebut atau meningkatkan masukan logam pencemar, salah satunya adalah Cd sebesar 52 g.ha-1.th-1 atau 692.824 kg per tahun (dihitung berdasarkan nilai tertinggi dari sumber pupuk N dan P saja). Pada hal logam berat yang dibawa pupuk tidak hanya Cd tapi banyak macam, selain itu, masukan pupuk yang diberikan tidak hanya sumber N dan P saja, tetapi juga sumber unsur lainnya. Berdasarkan penjelasan ini, lahan-lahan pertanian intensif akan terus meningkat kadar logam beratnya.

Hasil penelitian Winarso (2012) menunjukkan bahwa perbaikan sifat-sifat tanah, khususnya oleh penambahan bahan organik akan meningkatkan kerapatan mikroorganisme, baik bakteri maupun fungi (Gambar 1).



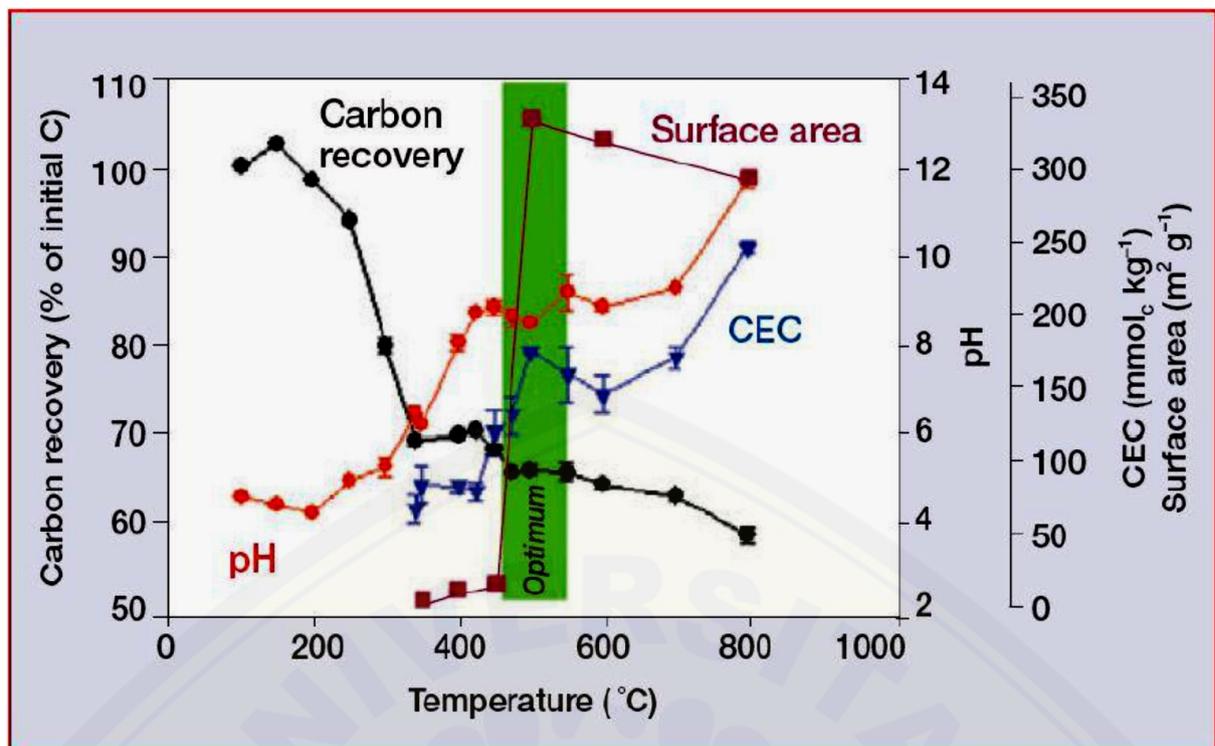
Gambar 1. Pengaruh kombinasi perlakuan terhadap populasi mikrobia tanah masam pada berbagai waktu inkubasi (minggu)

Sering praktek pengelolaan lahan-lahan pertanian tropika dituding sebagai sumber pemanasan global, karena produksi metan (CH<sub>4</sub>) dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) tinggi. Permasalahan ini tidak terlepas dari kondisi unik tropika basah yang dicirikan oleh kelembaban (curah hujan) dan temperature tinggi, sepanjang tahun. Faktor kelembaban dan temperatur tinggi ini merupakan faktor dominan yang mempengaruhi tinggi proses dekomposisi bahan organik sehingga melepaskan CO<sub>2</sub> ke atmosfer. Akan tetapi di sisi lain, juga di tropika basahlah tempat produksi biomasa paling tinggi dibandingkan dengan daerah lainnya (Lavine, 2010).

## 2.2 Potensi dan Karakteristik Biochar

Biochar adalah bahan organik hasil proses pirolisis dalam kondisi minim atau bahkan tidak ada oksigen (Sohi, *et al.*, 2009), sehingga biochar ini mempunyai sifat-sifat spesifik yang sangat tepat untuk perbaikan tanah-tanah marginal di Indonesia. Hal ini disebabkan waktu keberadaan biochar di dalam tanah bisa ratusan hingga ribuan tahun, atau sekitar 10-1000 kali lebih lama dibandingkan dengan bahan organik tanah (Verheijen, 2010). Biochar ini dapat mempunyai sifat dan fungsi sebagai bioenergi, stabil secara kimia, karbonnya dapat bertahan di dalam tanah selama ratusan hingga ribuan tahun, mempunyai sifat-sifat berbeda dengan sumbernya, dapat menyerap senyawa beracun, dan mempunyai kemampuan menyimpan air (Lehmann, 2007; Lehmann and Joseph, 2009). Karakteristik biochar ini bisa berbeda-beda, baik fisik maupun kimia, tergantung dari sumber atau asalnya dan kondisi proses (temperatur dan waktu) produksinya. Biochar yang berasal dari biomas berkayu relatif lebih stabil dibandingkan dengan yang berasal dari serasah (Sohi, *et al.*, 2009). Sifat-sifat baik biochar tersebut menyebabkan banyak ahli saat ini meneliti dan menggunakannya sebagai bahan alternatif untuk meningkatkan kesburan atau kesehatan tanah dengan tetap mempertimbangkan aspek lingkungan, khususnya *global warming* (Schahczenski, 2010; Levine, 2010) sehingga penggunaan biochar juga dikatakan sebagai *sesquitrations* (menyerap dan menyimpan) karbon (Steinbeiss, *et al.*, 2009). Stabilitas biochar yang tinggi di dalam tanah ini sangat menguntungkan apabila diimplementasikan di lahan-lahan pertanian tropika basah yang sangat cepat proses dekomposisi bahan organiknya.

Gambar 2 menggambarkan hubungan antara sifat-sifat biochar (kadar karbon, luas permukaan, KTK, dan pH) dengan temperatur selama produksi biochar. Berdasarkan Gambar tersebut, kondisi atau temperatur optimum untuk mendapatkan sifat-sifat paling baik adalah sekitar 500oC. Pada temperatur tersebut kadar karbon sekitar 65%; luas permukaan biochar paling tinggi yaitu sekitar 350 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>; KTK sekitar 150 mmolc.kg<sup>-1</sup>; dan pH di atas 8.



Gambar 2. Hubungan sifat-sifat biochar dengan temperature selama produksi biochar atau selama proses pirolisis

Potensi biochar sebagai bahan penyubur atau meningkatkan kesehatan tanah untuk produksi tanaman di Indonesia sangat besar, karena bahan baku untuk pembuatan biochar sangat melimpah dan ada dimana-mana. Melimpahnya potensi biomas untuk biochar di tropika, termasuk Indonesia, ini ditunjukkan oleh beberapa ahli seperti Lugo *et al.* (1990) bahwa hasil evaluasi selama 5,5 tahun, menunjukkan bahwa terjadi akumulasi biomas dari berbagai spesies di tropika sekitar 6-36,2 Mg.ha<sup>-1</sup>.tahun<sup>-1</sup>. Demikian juga dinyatakan oleh Lasco, *et al.* (2009) bahwa aktivitas penghutanan kembali pada daerah terdegradasi meningkatkan kerapatan C rata-rata sebesar sekitar 10 Mg C.ha<sup>-1</sup>.tahun<sup>-1</sup> untuk spesies yang tumbuh cepat dan sekitar 3 Mg C.ha<sup>-1</sup>.tahun<sup>-1</sup> untuk spesies yang tumbuh lambat. Di Asia tropika, diperkirakan penghutanan kembali, agroforestry, aktivitas regenerasi dan menghindari penebangan hutang mempunyai potensi menyimpan karbon (sesquitation) sebesar 7,50; 2,30; 3,8-7,7; dan 3,3-5,8 Gt C antara 1995-2050 (Brown, *et al.*, 1996). Potensi sumber bahan organik dari limbah pertanian, khususnya perkebunan kelapa sawit saja di Indonesia sangat melimpah dan terus bertambah dari tahun ke tahun, yaitu limbah padat tandan kosong (TKS) saja sekitar 6 juta ton (23% dari total) atau 26 juta ton pada 2004 Ditjenbun (2006) dan dalam 20 tahun terakhir penambahan kebun kelapa sawit mencapai lima juta ha atau meningkat 837%. Produksi biomas di tropika yang sangat besar ini, ternyata juga diimbangi dengan emisi C ke atmosfer yang besar pula, seperti ditunjukkan oleh Watson, *et al.* (2000) bahwa saat ini diperkirakan emisi hutan tropika dunia sekitar 1,6 Gt CO<sub>2</sub>-C per tahun (Watson, *et al.*, 2000).

Ketidakberhasilan dalam mengelola neraca karbon di dalam tanah, khususnya di lahan-lahan pertanian, justru menurunkan kadar bahan organik di dalam lahan-lahan pertanian tersebut. Penurunan karbon atau bahan organik akan menurunkan sifat-sifat tanah yang menguntungkan sehingga kesehatan dan produktivitas tanah juga turun. Oleh karena itu, apabila dilihat sifat-sifat biochar yang dapat bertahan di dalam tanah hingga ribuan tahun, sangat tepat diaplikasikan di lahan-lahan pertanian tropika, termasuk Indonesia. Berdasarkan proses pembuatan biochar yaitu pemanasan tinggi dalam kondisi kurang oksigen atau prosesnya disebut pirolisis, akan menyebabkan miskin unsur hara, khususnya N dan S (Tabel 2) (McLaughlin, *et al.*, 2012); selain mempunyai fungsi-fungsi menguntungkan seperti: mempunyai luas permukaan sangat luas dan dapat meningkatkan kapasitas tukar kation tanah (Sohi, *et al.*, 2009), serta seperti telah dijelaskan di atas. Adanya sifat yang tidak menguntungkan, seperti dijelaskan di atas, maka penggunaan biochar langsung di lahan pertanian justru mengganggu pertumbuhan tanaman karena miskin unsur hara N dan S. Penggunaan biochar di lahan-lahan pertanian di Indonesia juga masih sangat kurang bahkan banyak petani belum tahu; demikian juga banyak ahli pertanian dan lingkungan masih belum banyak menelitinya.

Tabel 2. Karakteristik biochar yang diajukan sebagai standar biochar

Karakteristik	1	2	3	4
KA (%)	0	0	0	0
Total Abu (%)	2,3	3,4	3,6	4,0
C-organik (%)	85,3	85,9	85,9	84,0
C-inorganik (%)	0,07	0,10	0,15	0,21
H:C (molar)	0,40	0,33	0,29	0,28
H (%)	2,9	2,4	2,1	2,0
Total N (%)	0,75	0,69	0,67	0,66
Total O (%)	8,7	7,6	7,5	9,1
pH	NA	NA	NA	NA
Kapur (netralitas, % CaCO <sub>3</sub> )	1,1	1,8	4,9	5,9
Kapur (Karbonat, % CaCO <sub>3</sub> )	0,6	0,8	1,2	1,8
Ca (%)	1,3	2,7	3,0	2,8
Mg (%)	0,3	2,0	2,7	2,3
Aktivitas (butane) (g.100 g <sup>-1</sup> )	4,1	6,3	8,4	10,6
Berat Isi (lb.cu ft <sup>-1</sup> )	17,84	14,35	13,79	14,38
S (%)	0	0	0	0
Energi (Btu.lb <sup>-1</sup> )	13855	13733	13596	13171
Bahan mobil (%)	2,02	1,51	1,54	1,82

McLaughlin, H., F. Shields, J. Jagiello, and G. Tiele. 2012. Analytical Options for Biochar Adsorption and Surface Area. US Biochar Conference. 1-19.

### 2.3 Manfaat Biochar untuk Peningkatan Kesuburan atau Kesehatan Tanah

Kesuburan tanah tergantung pada degradasi bahan organik dan daur unsur hara. Biochar dapat digunakan sebagai bahan yang meningkatkan hal tersebut melalui pengendalian dan

mencegah tidak berhenti proses-proses tersebut. Selain itu, menyesuaikan dengan bahan organik labil, yang mudah keluar dari sistem perakaran tanaman. Atau sesuai dengan bahan organik labil yang dikeluarkan oleh akar tanaman (Dempster, *et al.*, 2010).

Berdasarkan sifats-sifat biochar yang telah dijelaskan di atas, maka biochar mempunyai potensi untuk menghasilkan pertanian berbasis energi terbarukan yang sangat dibutuhkan di tropika yang memungkinkan proses pelapukan berjalan cepat dan menjadi bahan pembenah tanah yang sangat bernilai untuk meningkatkan produktivitas tanah (Schahczenski, 2010). Pemanfaatannya mempunyai spectrum yang luas, sehingga sangat berpotensi untuk dipakai kebijakan atau gerakan masal suatu Negara atau komunitas. Hal ini seperti yang dijelaskan oleh Steiner (2010) bahwa biochar dapat mengurangi kompetisi karena terjadinya perbedaan tujuan penggunaan lahan untuk *sesquitrating* karbon, produksi pangan atau energi. Selain itu dijelaskan bahwa penggunaan biochar akan mengembalikan karbon dan hara ke lahan dan menjadi cadangan (sink) karbon yang permanen; biochar merupakan bahan pembenah tanah yang sangat menguntungkan untuk meningkatkan kesuburan tanah; dan teknologi dapat disebarluaskan pada berbagai skala dan memungkinkan pemanfaatannya pada spektrum yang luas.

Penggunaan biochar untuk perbaikan tanah dijelaskan oleh Steinbeiss, *et al.* (2009) yaitu hasil penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan biochar dapat meningkatkan kerapatan mikroorganisme, khususnya fungi. Hal ini diperkuat oleh Steiner *et al.* (2008) yaitu dari beberapa studi menunjukkan bahwa peningkatan aktivitas mikrobial di dalam tanah terjadi pada tanah yang kaya biochar. Sohi *et al.* (2009) menyatakan bahwa penggunaan biochar selain dapat meningkatkan produktivitas tanah juga dapat meningkatkan *sesquitrating* karbon (menyerap dan menyimpan karbon).

Berdasarkan Levine (2010) secara konsep ada 3 mekanisme yang dapat menerangkan bagaimana biochar bisa meningkatkan produksi tanaman, yaitu: 1) memodifikasi secara langsung sifat-sifat kimia tanah melalui perbaikan komposisi dan kadar unsur hara, 2) memberikan permukaan aktif secara kimia yang memodifikasi dinamika unsur hara di dalam tanah atau mengkatalis reaksi-reaksi menguntungkan di dalam tanah, dan 3) memodifikasi sifat-sifat tanah yang menguntungkan pertumbuhan akar dan/atau retensi air serta serapan unsur hara tanaman.

Eratnya hubungan antara sifat-sifat tanah telah ditunjukkan oleh Winarso (2012) yaitu perbaikan sifat-sifat kimia tanah masam (Ultisol) oleh penambahan senyawa humik (bahan

organik aktif) diikuti dengan peningkatan kerapatan mikrobia tanah baik fungi, bakteri atau total mikrobia (Tabel 3). Hasil penelitian yang sama yaitu upaya perbaikan tanah dengan penambahan Biochar, ditunjukkan oleh Dempster., *et al.* (2010). Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa terjadi perubahan perbandingan C/N dan struktur komunitas mikrobia secara nyata setelah penambahan 25 ton.ha-1 biochar. Penurunan C/N mikrobia (dari 8:1 menjadi 5:1) ini menunjukkan terjadinya pergeseran dominasi komunitas bakteri. Setelah 10 minggu inkubasi, terjadi penurunan dari total mineralisasi N rata-rata 11 mg N.kg-1 tanah kering untuk tanpa pemberian biochar menjadi 1 mg N.kg-1 tanah kering dengan penambahan 25 ton.ha-1 biochar. Serapan N ke biochar pada penelitian ini belum bias dijelaskan.

Tabel 3. Matrik korelasi antar variabel tanah masam pada awal, 3 dan 5 minggu inkubasi

	pH	Al <sub>dd</sub>	P Bray-1	N-Total	Pop Mikrobia	Pop Bakteri	Pop Fungi
Awal Inkubasi							
pH	1,00	-0,59*	0,36	0,60*	-0,39	0,42	-0,19
Al <sub>dd</sub>		1,00	-0,92**	-0,79**	-0,21	-0,80**	-0,25
P Bray-1			1,00	0,79**	0,33	0,87**	0,26
N-total				1,00	-0,06	0,70**	0,07
Pop Mikrobia					1,00	0,21	0,38
Pop Bakteri						1,00	0,18
Pop Fungi							1,00
Tiga (3) minggu inkubasi							
pH	1,00	0,75**			-0,49	-0,72**	-0,85**
Al <sub>dd</sub>		1,00			-0,89**	-0,92**	-0,56*
Pop Mikrobia					1,00	0,74**	0,26
Pop Bakteri						1,00	0,26
Pop Fungi							1,00
Lima (5) minggu inkubasi							
pH	1,00	0,65*	-0,66**	-0,56*	-0,41	-0,63**	-0,54*
Al <sub>dd</sub>		1,00	-0,95**	-0,95**	-0,92**	-0,97**	-0,70**
P Bray-1			1,00	0,94**	0,91**	0,95**	0,72**
N-total				1,00	0,95**	0,95**	0,65*
Pop Mikrobia					1,00	0,92**	0,63*
Pop Bakteri						1,00	0,80**
Pop Fungi							1,00

N=15 samples; r tabel 0,01 = 0,661 dan 0,05 = 0,532

Keuntungan pemakaian biochar juga ditunjukkan oleh Cheng *et al.* (2008) yaitu sifat-sifat tanah yang akan meningkatkan setiap saat adalah KTK dan pH setelah penambahan biochar. Akan tetapi penambahan biochar dalam jumlah besar justru menghambat pertumbuhan tanaman (Steiner *et al.*, 2007) dan (Ogawa, 2006). Hasil penelitian Dempster., *et al.* (2010) menunjukkan bahwa penggunaan biochar, bahan pembenah tanah kaya karbon bersifat alkalis, dapat meningkatkan kesuburan tanah; melalui perubahan biomas mikrobia tanah, struktur komunitas dan fungsi dan jumlah N inorganic berubah hasil dari penambahan biochar.

## 2.4. Karakteristik Biochar dan Pertumbuhan Kedelai (Hasil Tahun Pertama)

Biochar secara visual cukup berbeda antar sumber atau bahan baku; yang berasal dari bahan kayu menunjukkan struktur yang lebih kompak dibandingkan dengan yang berasal dari jerami padi (yang mewakili C/N tinggi) maupun kedelai (yang mewakili C/N rendah). Biochar yang berasal jerami padi dan kedelai (bagian atas) lebih rapuh dibandingkan dengan yang berasal dari kayu (bawah tengah), sehingga lebih cepat hilang atau habis dibandingkan dengan dari kayu. Demikian juga apabila dihubungkan dengan hasil analisis kimia biochar tersebut menunjukkan bahwa kadar C pada biochar yang berasal dari kayu lebih tinggi dibandingkan dengan jerami padi dan kedelai. Hal yang sama juga pada kadar basa-basa (K, Ca, dan Na) lebih tinggi pada biochar yang berasal dari kayu, dan sebaliknya untuk basa Mg. Kadar unsur hara (N, P, K, Ca, dan Mg) di dalam biochar untuk menunjukkan sumber unsur hara pada tanaman apabila digunakan sebagai bahan amandemen menunjukkan bahwa biochar baik dari ketiga sumber tersebut termasuk miskin atau memberikan atau mempunyai cadangan hara sangat rendah. Perbandingan C/N dan C/P yang sangat tinggi atau besar (600 hingga 700) dapat berarti bahan biochar sangat stabil di alam atau tanah akan bersifat stabil atau tidak mudah didekomposisi oleh mikrobia. Keberadaan biochar yang lama di tanah ini apabila fungsinya menguntungkan maka fungsi menguntungkan tersebut juga bersifat lama atau tidak cepat berubah. Fungsi biochar di tanah dalam hubungannya dengan lingkungan adalah dapat menghambat laju peningkatan suhu atmosfer dengan cara menahan C tetap di dalam tanah dan tidak berubah menjadi CO<sub>2</sub> yang akan emisi ke atmosfer.

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa karakteristik biochar hasil pembuatan dari bahan kayu, jerami padi dan jerami kedelai mempunyai kadar C dan C/N tinggi, tetapi kadar unsur hara makro NPK sangat rendah, khususnya N yang sangat dibutuhkan tanaman. Belum ada hasil penelitian yang dapat digunakan untuk memperkaya biochar, oleh karena itu pengkayaan didasarkan pada kadar unsur hara NPK sangat tinggi. Hasil pengkayaan biochar selanjutnya akan digunakan untuk pertimbangan perlakuan penambahan pada tanah marginal, ultisol. Pada saat ini penelitian pengkayaan unsur hara NPK pada beberapa biochar untuk pupuk dan soil amandement (bahan pembenah tanah) sedang dipersiapkan untuk dilakukan.

Hasil percobaan skala kecil di laboratorium untuk mencari hubungan kemampuan tanah menahan air pada beberapa penambahan biochar kayu dan jerami padi menunjukkan bahwa biochar jerami pada penambahan hingga 2 kg.m<sup>-3</sup> dapat meningkatkan kemampuan tanah dalam menahan atau menyimpan air dalam tanah hingga menjadi sekitar 70%. Apabila penambahan diteruskan justru menurunkan kemampuan tanah dalam menyimpan air. Berbeda dengan biochar yang berasal dari kayu yaitu peningkatan kemampuan tanah dalam menyimpan air lebih kecil

dalam satuan penambahan biochar akan tetapi penambahan hingga  $4 \text{ kg.m}^{-3}$  masih menunjukkan kecenderungan menaikkan kemampuan menyimpan air.

Pengaruh pengkayaan biochar dengan unsur hara makro NPK terhadap pertumbuhan tanaman kedelai yang ditunjukkan dari variabel jumlah daun dan tinggi tanaman. Jumlah daun tanaman mulai ada perbedaan antar perlakuan nampak pada umur 21 hari dan seterusnya. Pola penambahan jumlah daun terhadap umur tanaman untuk tertinggi yaitu  $y = 0,42x^2 + 0,62x - 1$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 0,99$ . Kecepatan penambahan jumlah daun setiap harinya adalah 0,3 daun per hari atau sekitar 3 hari bertambah satu daun. Pada umur 21 hari jumlah daun tanaman bervariasi antara 3 hingga 5 daun. Pada umur 28 hari jumlah daun bervariasi antara 4 hingga 8 daun. Perbedaan jumlah daun tanaman pada umur 28 hari atau 4 minggu pada berbagai perlakuan kombinasi antara jumlah biochar dengan penambahan NPK. Peningkatan jumlah atau dosis biochar yang diperkaya NPK dapat meningkatkan jumlah daun tanaman. Peningkatan dari perlakuan D1 hingga D3 nampak sangat konsisten atau teratur, akan tetapi setelah dosis biochar ditingkatkan hingga  $10 \text{ ton.ha}^{-1}$  (D4) terjadi cukup besar keragaman responnya yaitu jumlah daun bertambah hingga rata-rata 8 daun. Perlakuan dari biochar dari kayu yang diperkaya NPK menunjukkan peningkatan jumlah daun paling tinggi dibandingkan yang lain, yaitu biochar jerami padi dan kedelai. Pada penambahan biochar  $10 \text{ ton.ha}^{-1}$  ada informasi yang menarik yaitu penambahan biochar saja akan tetapi tidak dikombinasikan dengan NPK (pengkayaan NPK), jumlah daun tanaman paling rendah yaitu sekitar 4. Sebenarnya terhambatnya pertumbuhan tanaman yang ditunjukkan dari perkembangan jumlah daun ini sudah nampak pada umur tanaman 3 minggu yaitu jumlah daun tanpa penambahan NPK lebih rendah dibandingkan dengan umur 2 minggu dan penurunan atau lebih rendahnya jumlah daun ini berlanjut pada umur 4 minggu. Pola penurunan jumlah daun tanaman kedelai oleh penambahan biochar kayu tanpa pengkayaan NPK adalah sebagai berikut:  $y = -0,54x^2 + 2,53x + 2,88$  dengan koefisien determinasi sangat tinggi yaitu  $R^2 = 0,99$ . Pola peningkatan jumlah daun tanaman kedelai oleh penambahan kombinasi biochar jerami padi dan kayu sama meningkat dengan penambahan dosis biochar, hanya untuk biochar kayu lebih tinggi dibandingkan dengan jerami padi. Regresi peningkatan jumlah daun tanaman kedelai oleh peningkatan dosis biochar adalah sebagai berikut:  $y = 0,42x^2 - 1,02x + 5,58$  dengan koefisien determinasi sangat tinggi  $R^2 = 0,99$ .

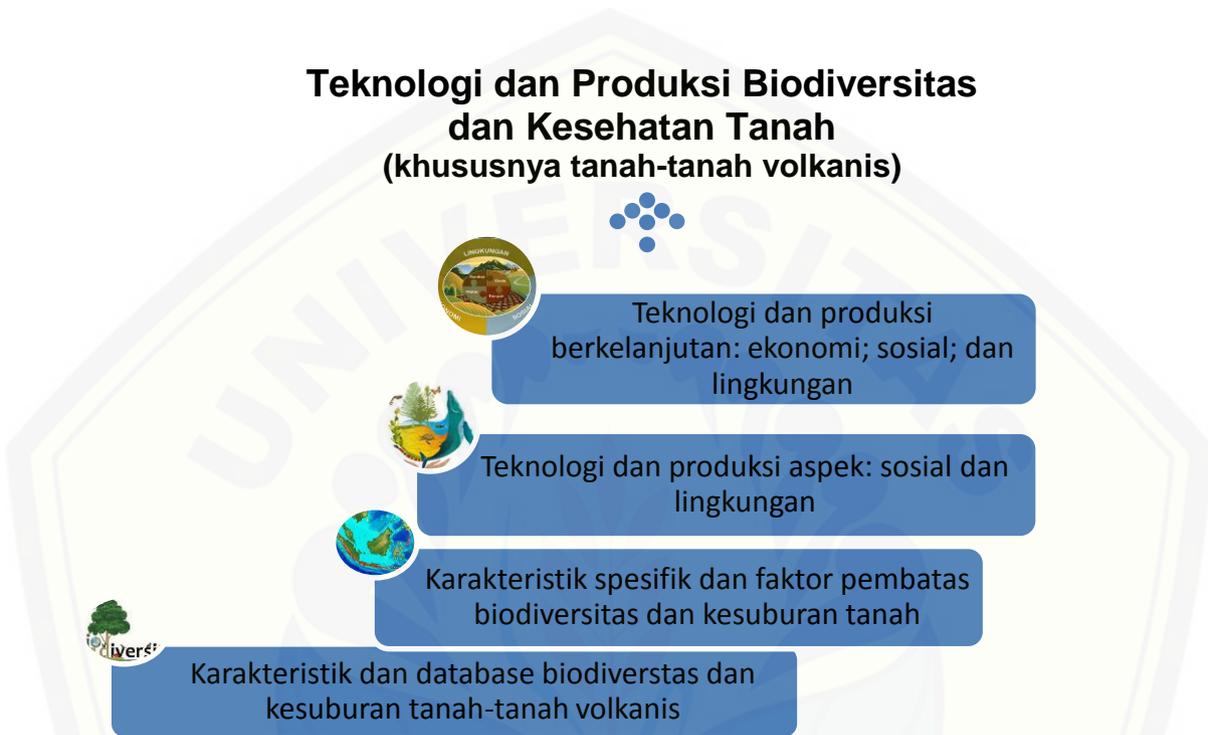
Perkembangan tinggi tanaman selama pertumbuhan vegetatif menunjukkan bahwa setelah umur 21 hari terjadi peningkatan tinggi tanaman secara drastis. Secara keseluruhan perkembangan atau peningkatan tinggi tanaman berdasarkan umur mengikuti persamaan sebagai berikut:  $y = 1,82x^2 - 0,16x + 6,93$  dengan koefisien determinasi  $R^2 = 1$  atau kecepatan pertumbuhan rata-rata fase vegetatif adalah 1,26 cm per hari. Perkembangan jumlah daun ini ternyata hampir sama dengan perkembangan tinggi tanaman yaitu pola lebih rendah tinggi

tanaman kedelai oleh penambahan biochar kayu tanpa pengkayaan NPK adalah sebagai berikut:  $y = -0,54x^2 + 2,53x + 2,88$  dengan koefisien determinasi sangat tinggi yaitu  $R^2 = 0,99$ . Pola peningkatan tinggi tanaman kedelai oleh penambahan kombinasi biochar jerami padi dan kayu sama meningkat dengan penambahan dosis biochar, hanya untuk biochar kayu lebih tinggi dibandingkan dengan jerami padi. Regresi peningkatan tinggi tanaman kedelai oleh peningkatan dosis biochar adalah sebagai berikut:  $y = 0,53x^2 - 0,07x + 27,02$  dengan koefisien determinasi sangat tinggi  $R^2 = 0,99$ .



**ROAD MAP PENELITIAN**

Arah kegiatan penelitian kelompok riset (keris) Soil Biodiversity and Fertility (SBF) Tahun 2017 – 2022 disajikan pada Gambar 6, yang secara kelembagaan di Fakultas Pertanian dan Prodi Ilmu Tanah khususnya aspek tanah atau lahan, telah mengacu pada Visi dan Misi-nya yaitu peningkatan kesejahteraan pelaku pertanian melalui efisiensi sistem produksi pertanian berkelanjutan dan perbaikan nilai tambah lingkungan.



Gambar 6. Roadmap Penelitian Kelompok Riset Soil Biodiversity and Fertility (SBF) Tahun 2017 - 2022

Dalam mendukung arah pengembangan tersebut di atas, maka konsentrasi penelitian saya adalah pengembangan dan penerapan pertanian berkelanjutan dan ramah lingkungan, khususnya di lahan kering marginal; sedangkan komoditas yang saya pilih adalah kedelai. Pertimbangan ini juga saya hubungan dengan Rencana Induk Penelitian yang disusun oleh Lembaga Penelitian Universitas Jember 2013-2020 (Tabel 3).

Tabel 3. Arah penelitian sesuai dengan Rencana Induk Penelitian UNEJ 2013-2020 (4.2) Riset bidang pertanian dan pangan

No.	Isu Strategis	Topik Penelitian
4.2	Tema 1: Tema dan Topik Agenda Riset	1. Perakitan varietas dan sistem perbenihan padi, jagung dan kedele untuk lahan sub optimal. 2. Pengembangan model bioindustri padi, jagung dan kedele di lahan sub optimal.

	Bidang Pangan dan Pertanian	<ol style="list-style-type: none"><li>3. <b>Inovasi sistem dan teknologi pasca panen padi, jagung dan kedele di berbagai agroekosistem.</b></li><li>4. Inovasi sistem dan teknologi pasca panen padi, jagung dan kedele di berbagai agroekosistem.</li><li>5. Kajian sosial ekonomi dan kebijakan pembangunan bioindustri padi, jagung, kedele di lahan sub optimal.</li></ol>
--	-----------------------------	--

Proposal ini merupakan lanjutan 2016-2017 yang telah membuktikan bahwa pengkayaan biochar dapat memperbaiki sifat-sifat kimia tanah dan pertumbuhan tanaman kedelai, serta memungkinkan pengaturan dosis dan macam bahan pengkaya. Usulan tahun berikutnya (2018-2019) untuk menguji pada aspek keekonomian dan lingkungan dengan judul “**Stabilitas, efisiensi, dan rekomendasi pemberian biochar yang diperkaya unsur hara pada beberapa jenis tanah berbeda karakter**”; sehingga terjadi peningkatan tingkat kesiapterapannya menuju 5 (persyaratan teknologi, akurasi, kelayakan teknis dan ekonomi). Usulan penelitian stranas ini untuk mendukung swasembada kedelai nasional dan sub tema penelitian yaitu modifikasi agronomis termasuk teknologi pengelolaan air, hara, dan lahan

**BAB III. METODE PENELITIAN**

Metodologi penelitian selama dua tahun ini digambarkan secara komprehensif dalam tabel yang berisi kegiatan, tujuan atau target, tempat, rancangan dan keterangan lainnya seperti disajikan dalam Tabel berikut.

<b>Kegiatan</b>	<b>Tujuan dan Target</b>	<b>Tempat</b>	<b>Rancangan dan Keterangan</b>
<b>Tahun 1.</b> Ada tiga kegiatan dengan tujuan untuk mendapatkan macam dan dosis bahan pengkayaan biochar dari berbagai sumber yang efektif dalam memperbaiki sifat tanah			
1) Produksi dan karakteristik biochar dari limbah jerami padi, limbah kedelai, dan kayu	Karakteristik spesifik biochar berbagai sumber berdasarkan aspek fisik (kemampuan menahan air atau air tersedia) dan kimia (kadar abu, pH, N, P, K, Ca, Na, Mg)	Laboratorium Kimia-kesuburan tanah UNEJ dan LIPI	<input type="checkbox"/> Limbah atau sisa tanaman kedelai yang mewakili C/N rendah <input type="checkbox"/> Jerami padi dan kayu yang mewakili C/N tinggi
2) Pengkayaan biochar dari berbagai sumber berdasarkan karakteristik yang ada dan kebutuhan tanaman di lab	Biochar yang mempunyai karakteristik yang sesuai dengan kebutuhan tanaman kedelai dan dapat digunakan pada lahan dengan variasi sifat yang luas	Laboratorium Kimia-kesuburan tanah dan biologi UNEJ	<input type="checkbox"/> Dasar perhitungan: <input type="checkbox"/> 1. Sifat aktual tiga sumber biochar (berbeda C/N) <input type="checkbox"/> 2. Sifat tanah marginal (Ultisol Bogor) dan tidak (Inceptisol Jember) <input type="checkbox"/> 3. Harkat keharaan kedelai
3) Efektivitas biochar kaya nutrisi terhadap perbaikan sifat-sifat tanah (fisika, kimia, dan biologi), khususnya tanah marginal	Efektifitas utamanya didasarkan pada sifat fisik tanah (kemampuan menahan air atau air tersedia), kimia (meningkatkan kadar hara NPK, pH dan KTK), biologi (meningkatkan total mikroorganisme, bakteri dan fungi)	Laboratorium Kimia-kesuburan tanah UNEJ dan sampling tanah Bogor	<input type="checkbox"/> RAL faktorial dengan: <input type="checkbox"/> faktor 1, biochar kaya nutrisi berdasarkan percobaan 2, terdiri dari 5 level <input type="checkbox"/> faktor 2; konsentrasi biochar (Mg C.ha <sup>-1</sup> ): kontrol; 0,5; 2,5; 5,0; 10 <input type="checkbox"/> Sumber biochar: Jerami padi; kedelai; dan kayu
<b>Tahun 2.</b> ada tiga kegiatan dengan tujuan untuk mendapatkan biochar kaya hara dan efektif dalam meningkatkan kesehatan tanah melalui perbaikan karakteristik tanah baik fisik, kimia dan biologi, serta meningkatkan produksi tanaman kedelai			
1) Uji efektivitas dan stabilitas biochar kaya nutrisi terhadap perbaikan sifat tanah marginal dan tidak	Biochar efektif dalam meningkatkan sifat-sifat tanah baik di lahan marginal (Ultisol Bogor) maupun tidak (Inceptisol Jember)	Laboratorium Kimia-kesuburan tanah UNEJ dan sampling tanah Bogor	<input type="checkbox"/> RAK faktorial: <input type="checkbox"/> faktor 1, konsentrasi biochar diperkaya (Mg C.ha <sup>-1</sup> ): 0; 0,5; 2,5; 5,0; 10 <input type="checkbox"/> Faktor 2, waktu analisis: 0; 2; 4; 6; 8 minggu inkubasi tanah <input type="checkbox"/> Analisis sifat tanah (fisik, kimia dan biologi)
2) Uji efektivitas dan efisiensi biochar kaya nutrisi terhadap sifat tanah marginal dan	Biochar efektif dalam meningkatkan sifat-sifat tanah baik di lahan marginal (Ultisol Bogor) maupun tidak (Inceptisol Jember) skala pot	Laboratorium Kimia-kesuburan tanah UNEJ dan sampling	<input type="checkbox"/> RAK faktorial: <input type="checkbox"/> faktor 1, konsentrasi biochar diperkaya (Mg C.ha <sup>-1</sup> ): 0; 0,5; 2,5; 5,0; 10 <input type="checkbox"/> faktor 2, tanah (Ultisol dan Inceptisol)

tidak, serta produksi tanaman		tanah Bogor	<input type="checkbox"/> Sifat-sifat tanah <input type="checkbox"/> Pertumbuhan dan produksi tanaman
3) Uji efektivitas dan efisiensi biochar kaya nutrisi terhadap produksi tanaman kedelai	Biochar efektif dalam meningkatkan sifat-sifat tanah (Inceptisol Jember) skala lapangan	Lab Kimia-kesuburan tanah UNEJ Kebun Percobaan Unej, Jubung-Jember	<input type="checkbox"/> RAK faktorial: <input type="checkbox"/> Perlakuan, konsentrasi biochar diperkaya (Mg C.ha-1): 0; 0,5; 2,5; 5,0; 10 <input type="checkbox"/> Sifat-sifat tanah <input type="checkbox"/> Pertumbuhan dan produksi tanaman <input type="checkbox"/> Analisis usahatani produksi

### Tahun kedua (lanjutan)

Pada tahun kedua ada tiga kegiatan dengan tujuan untuk mendapatkan biochar kaya hara dan efektif dalam meningkatkan kesehatan tanah melalui perbaikan karakteristik tanah baik fisik, kimia dan biologi, serta meningkatkan produksi tanaman kedelai. Efektivitas bahan juga didasarkan pada peningkatan hasil atau produksi tanaman kedelai yang diuji baik dalam hal bobot maupun kualitas.

#### 1) Uji efektivitas dan stabilitas biochar kaya nutrisi terhadap perbaikan sifat tanah marginal (Ultisol) dan tidak (Inceptisol)

Percobaan 1 bertujuan untuk mengetahui efektivitas dan stabilitas biochar kaya nutrisi terhadap perbaikan sifat-sifat tanah baik sifat fisika, kimia, dan biologi, pada tanah marginal (Ultisol) dan tidak (Inceptisol). Tanah marginal atau Ultisol diambil dari Bogor Jawa Barat, tepatnya di Jasinga.

Percobaan akan dilaksanakan di Rumah Kaca Fakultas Pertanian UNEJ, dengan menggunakan rancangan percobaan Rancangan Acak Lengkap (RAL) faktorial dengan faktor: Faktor 1, konsentrasi biochar (Mg C.ha<sup>-1</sup>) yang terdiri dari 5 level yaitu:

1. Kontrol atau tanpa penambahan biochar
2. Penambahan biochar setara dengan 0,5 Mg C.ha<sup>-1</sup>.
3. Penambahan biochar setara dengan 2,5 Mg C.ha<sup>-1</sup>.
4. Penambahan biochar setara dengan 5,0 Mg C.ha<sup>-1</sup>.
5. Penambahan biochar setara dengan 10 Mg C.ha<sup>-1</sup>.

Faktor 2, waktu analisis: 0; 2; 4; 6; dan 8 minggu inkubasi

Masing-masing perlakuan diulang sebanyak 3 kali sehingga ada 75 satuan percobaan. Untuk melihat pengaruh perlakuan terhadap perubahan karakteristik tanah dilakukan analisis unsur hara dan beberapa sifat fisika dan biologi yang sudah dijelaskan di atas. Efektivitas didasarkan pada besarnya perubahan sebelum dan sesudah perlakuan, sedangkan stabilitas

didasarkan konsistensi perubahan berdasarkan waktu inkubasi. Apabila dalam kegiatan ini terlalu banyak sehingga kesulitan dalam pelaksanaannya, maka perlakuan faktor konsentrasi dapat dipilih berdasarkan hasil penelitian tahun pertama untuk kegiatan ketiga. Selama inkubasi dipertahankan kadar air sekitar 80% dari kapasitas lapangan dengan cara penimbangan. Inkubasi dilakukan di laboratorium pada kondisi suhu kamar dan aerasi baik.

## 2) Uji efektivitas dan efisiensi biochar kaya nutrisi terhadap sifat tanah marginal dan tidak serta pertumbuhan tanaman skala pot

Percobaan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Faktorial dengan 2 faktor yaitu: Faktor penambahan biochar yang terdiri dari:

- 1) Kontrol atau tanpa penambahan biochar
- 2) Penambahan biochar setara dengan 0,5 Mg C.ha<sup>-1</sup>.
- 3) Penambahan biochar setara dengan 2,5 Mg C.ha<sup>-1</sup>.
- 4) Penambahan biochar setara dengan 5,0 Mg C.ha<sup>-1</sup>.
- 5) Penambahan biochar setara dengan 10 Mg C.ha<sup>-1</sup>.; dan

Faktor cara pemberian biochar, yaitu bahan pengkaya biochar diberikan bersama-sama penambahan biochar atau sendiri-sendiri. Variabel stabilitas didasarkan utamanya pada pH, Al<sub>d</sub>, P-total, dan P-tersedia.

Tabel 2. Variabel untuk karakteristik biochar

No	Analisis atau variabel	Metode dan Keterangan
1	Kadar abu	Muffle Furnice
2	pH dan total keasaman	Elektrode gelas (Jackson, 1956)
3	C-organik	Oksidasi basah Walkley and Black (Page <i>et al.</i> , 1982)
4	C/N	Perhitungan
5	Kadar air	Oven 105oC
6	Berat isi	Pengukuran bobot dan volume
7	Basa-basa (K, Ca, Mg, Na) total	Pengabuan, AAS
8	S total	Spektrofotometer
9	N total	Oksidasi Basah, Kjeldhal
10	P total	Destruksi Basah (campuran 3 asam HNO <sub>3</sub> , HClO <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ; 3:1:1)
11	Daya netralitas (%CaCO <sub>3</sub> )	Percobaan

## INDIKATOR CAPAIAN TAHUNAN

Indikator capaian penelitian tiga kegiatan pada tahun pertama adalah:

1. Karakteristik spesifik biochar (khususnya fisika dan kimia, yaitu kadar abu, berat isi, kadar air, pH, C-organik, C/N, N-total, P-total, S-total, basa-basa dapat ditukar (K, Na, Ca, dan Mg) dan daya netralitas.
2. Diketahui bahan dan dosis pengkaya unsur hara untuk biochar berdasarkan hasil point (indikator) 1, sehingga mempunyai sifat baik lengkap baik fisik, kimia, dan biologi.
3. Diketahui konsentrasi biochar yang dapat memenuhi harkat kualitas dan kesehatan tanah jangka panjang sesuai dengan kebutuhan kedelai secara laboratorium
4. Melibatkan minimal dua mahasiswa tingkat akhir
5. Satu publikasi di jurnal nasional terakreditasi atau internasional

Indikator capaian penelitian tiga kegiatan tahun kedua adalah:

1. Biochar kaya nutrisi sehingga menjadi biochar yang mempunyai sifat lengkap baik fisik, kimia dan biologi yang dapat sekaligus dapat digunakan pada lahan-lahan penanaman kedelai.
2. Diketahui efektivitas dan stabilitas fungsi biochar di dalam tanah, sehingga menjadi dasar rekomendasi periode pemberian berikutnya.
3. Didapat bahan peningkatan kesehatan tanah jangka panjang sekaligus dapat berfungsi sebagai sesquitrasi karbon (C).
4. Melibatkan minimal dua mahasiswa tingkat akhir
5. Satu publikasi di jurnal nasional terakreditasi atau internasional

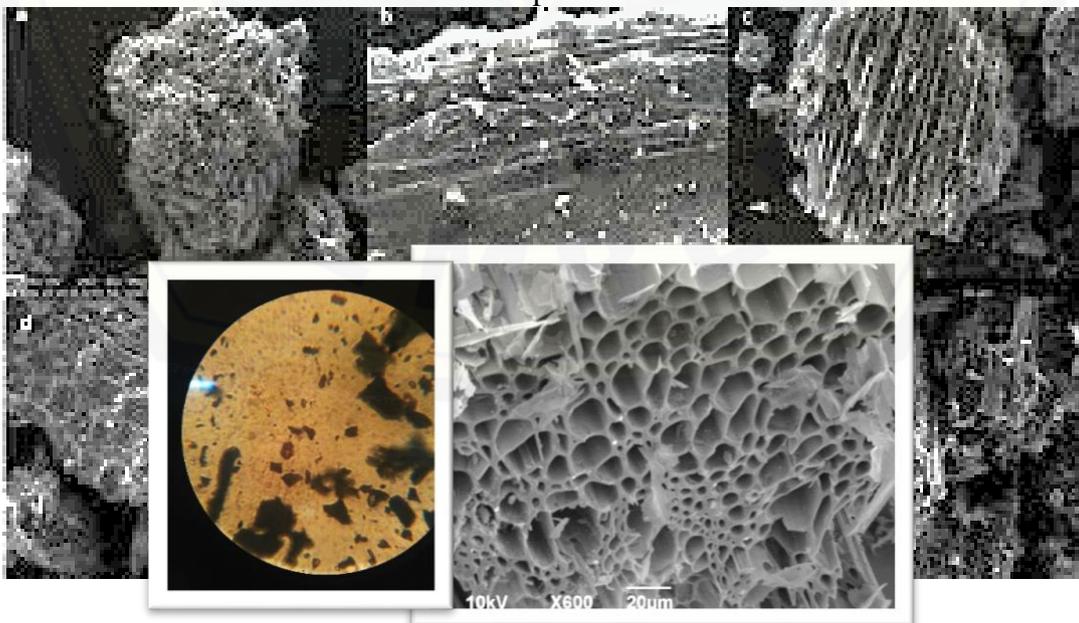
**BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN**  
**(Tahun 2 Laporan Akhir)**

**4.1 Karakteristik Biochar**

Biochar secara visual cukup berbeda antar sumber atau bahan baku; yang berasal dari bahan kayu menunjukkan struktur yang lebih kompak dibandingkan dengan yang berasal dari jerami padi (yang mewakili C/N tinggi) maupun kedelai (yang mewakili C/N rendah). Hasil pembuatan biochar dari berbagai sumber secara visual disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Biochar dari berbagai sumber (kayu, jerami padi, dan jerami kedelai) sebagai sumber perlakuan



Gambar 2. Biochar dari berbagai sumber (kayu, jerami padi, dan jerami kedelai) sebagai salah satu perlakuan

Berdasarkan Gambar 2 nampak bahwa biochar yang berasal jerami padi dan kedelai (bagian atas) lebih rapuh dibandingkan dengan yang berasal dari kayu (bawah tengah), sehingga lebih cepat hilang atau habis dibandingkan dengan dari kayu. Demikian juga apabila dihubungkan dengan hasil analisis kimia biochar tersebut (Tabel 1), menunjukkan bahwa bahwa kadar C pada biochar yang berasal dari kayu lebih tinggi dibandingkan dengan jerami padi dan kedelai. Hal yang sama juga pada kadar basa-basa (K, Ca, dan Na) lebih tinggi pada biochar yang berasal dari kayu, dan sebaliknya untuk basa Mg. Kadar unsur hara (N, P, K, Ca, dan Mg) di dalam biochar untuk menunjukkan sumber unsur hara pada tanaman apabila digunakan sebagai bahan amandemen menunjukkan bahwa biochar baik dari ketiga sumber tersebut termasuk miskin atau memberikan atau mempunyai cadangan hara sangat rendah.

Tabel 1. Karakteristik kimia biochar dari berbagai sumber

Karakteristik	Kayu	Jerami Padi	Jerami Kedelai
C mg.kg <sup>-1</sup>	704	634	657
N mg.kg <sup>-1</sup>	1	1	1
P mg.kg <sup>-1</sup>	3	4	4
K mg.kg <sup>-1</sup>	301	170	176
Ca mg.kg <sup>-1</sup>	254	212	209
Mg mg.kg <sup>-1</sup>	70	183	181
Na mg.kg <sup>-1</sup>	12,5	7,01	7,30
C/N	704	634	657
C/P	235	159	164
pH	7,35	8,21	8,00
Abu %	49,2	50,4	50,5
Air %			

Berdasarkan Tabel 1 juga menunjukkan bahwa perbandingan C/N dan C/P yang sangat tinggi atau besar (600 hingga 700) dapat berarti bahan biochar sangat stabil di alam atau tanah akan bersifat stabil atau tidak mudah didekomposisi oleh mikrobia. Keberadaan biochar yang lama di tanah ini apabila fungsinya menguntungkan maka fungsi menguntungkan tersebut juga bersifat lama atau tidak cepat berubah. Fungsi biochar di tanah dalam hubungannya dengan lingkungan adalah dapat menghambat laju peningkatan suhu atmosfer dengan cara menahan C tetap di dalam tanah dan tidak berubah menjadi CO<sub>2</sub> yang akan emisi ke atmosfer.

#### 4.2 Sifat Fisika Tanah

Sifat fisika ultisol yang disajikan pada tabel 2 menunjukkan bahwa tekstur tanah lempung liat berpasir (*sandy clay loam*), kadar lengas 8,93%, berat jenis partikel 1,69 g.cm<sup>-3</sup>, berat volume 1,02 g.cm<sup>-3</sup>, dan porositas tanah sebesar 40%.

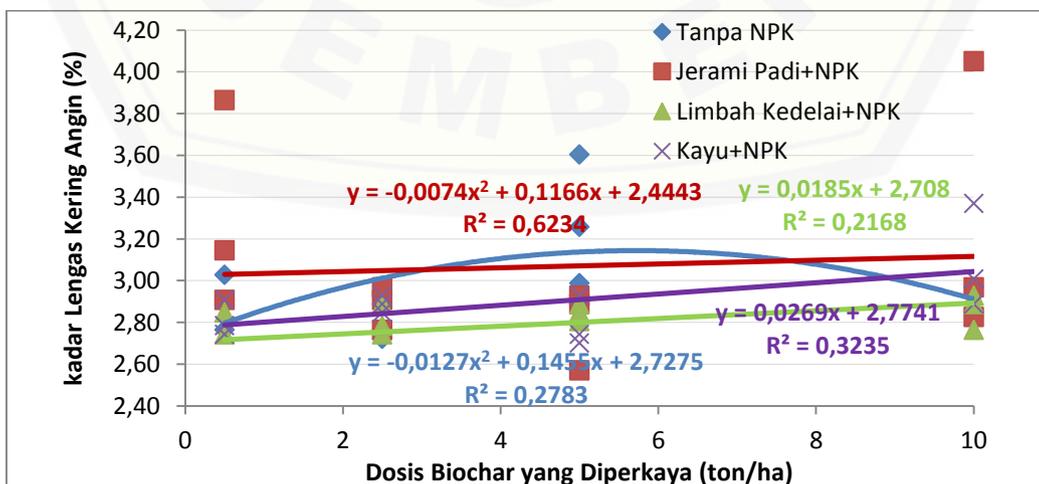
Tabel 2. Sifat fisika dan biologi tanah sebelum diperlakukan dengan biochar yang diperkaya

Sifat-sifat tanah	Nilai	Kategori
Tekstur	Sandy clay loam	Moderately coarse
% pasir	51,41	
% debu	25,44	
% klei	23,14	
Kadar lengas	8,93%	
Berat volume	1,02 g.cm <sup>-3</sup>	
Berat jenis partikel	1,69 g.cm <sup>-3</sup>	
Porositas tanah	40 %	
Total mikroorganisme	289.10 <sup>-9</sup> cfu.g <sup>-1</sup>	
Total bakteri tanah	211.10 <sup>-9</sup> cfu.g <sup>-1</sup>	
Total fungi tanah	109.10 <sup>-8</sup> cfu.g <sup>-1</sup>	

Tanah ultisol yang diambil di Bogor, Jawa Barat yang disajikan pada tabel di atas bertekstur lempung liat berpasir (*sandy clay loam*) dengan persentase fraksi penyusun 51,41% pasir, 25,44% debu dan 23,14% clay. Prasetyo dan Suriardika (2006) berpendapat bahwa, tekstur tanah ultisol bervariasi mulai dari liat berpasir hingga clay, tergantung pada bahan induk yang membentuknya. Munir (1996) menambahkan bahwa tanah ultisol yang terdapat di daratan Indonesia berasal dari bahan induk tuff masam, batu pasir dan bahan-bahan endapan dari pasir masam. Tanah ultisol yang berada di Pulau Jawa terutama di daerah Bogor dan Sukabumi merupakan tanah ultisol dengan sub order udult dan great group tropodult.

Setelah perlakuan penambahan biochar yang diperkaya dengan pupuk NPK dan penanaman tanaman kedelai pada tanah tersebut menunjukkan hasil yang berbeda tidak nyata pada semua perlakuan penambahan dosis baik untuk dosis rendah 0,5; 2,5; 5; maupun untuk penambahan dosis tertinggi yaitu 10 ton.ha<sup>-1</sup> terhadap perubahan kadar lengas tanah, berat volume tanah, berat jenis partikel, maupun porositas tanah.

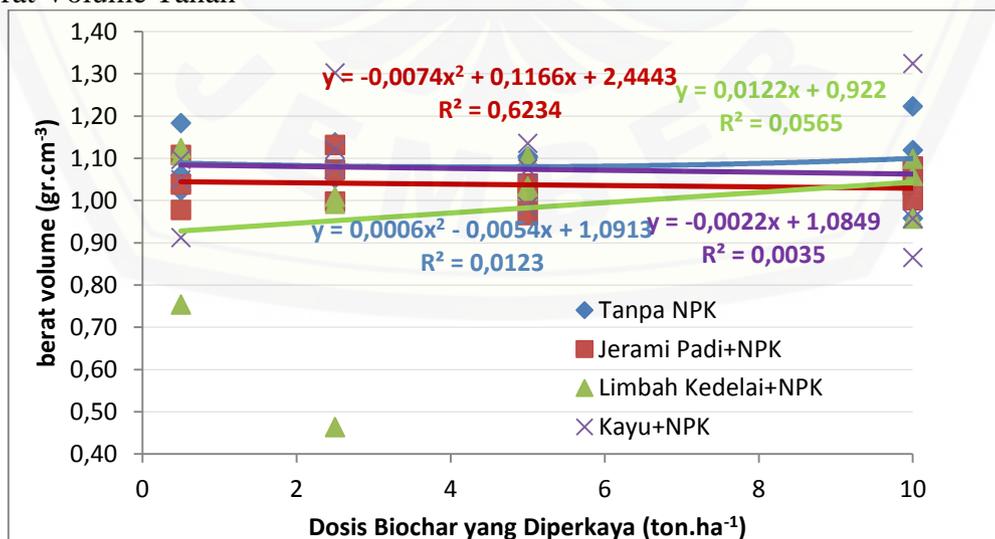
#### 4.3.1 Kadar Lengas Kering Angin



Gambar 3. Hubungan kadar lengas tanah setelah diperlakukan dengan biochar yang diperkaya.

Berdasarkan pada grafik 4.4, diketahui bahwa penambahan biochar kayu mampu mempengaruhi kadar lengas di dalam tanah sebesar 27,83% dengan menghasilkan titik optimum  $X = 5,728$ . Sedangkan penambahan biochar jerami padi + NPK mampu mempengaruhi kadar lengas tanah sebesar 62,34% dengan titik optimum  $X = 7,87$ . Persamaan linier regresi yang menunjukkan data penambahan biochar limbah kedelai + NPK yaitu  $Y = 0,0185 x + 2,708$ . Nilai  $0,0185 x$  menunjukkan nilai hubungan yang positif, yaitu semakin tinggi pemberian biochar maka semakin tinggi pula kadar lengas yang terdapat di dalam tanah, dan nilai korelasi sebesar  $R=0,4656$  menunjukkan korelasi antara kadar lengas tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK dalam kisaran yang cukup (Tabel 4.3). Namun, hanya 21,68% saja perubahan yang terjadi pada kadar lengas tanah dipengaruhi oleh penambahan biochar berbahan baku limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK, selebihnya 78,32% dipengaruhi oleh faktor lain. Penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK, memiliki nilai persamaan linier yaitu  $Y = 0,0269 x + 2,7741$  dengan nilai  $R^2=0,3235$ . Nilai  $0,3235 x$  pada garis tersebut menunjukkan hubungan yang positif, dimana penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak akan menyebabkan peningkatan kadar lengas yang terdapat di dalam tanah, memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,5687$  yang berarti korelasi antara kadar lengas tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK dalam kondisi yang cukup (Tabel 4.3). Selain itu, sebesar 32,35% perubahan yang terjadi pada kadar lengas dipengaruhi oleh penambahan biochar berbahan kayu yang diperkaya dengan NPK, sisanya 77,65% dipengaruhi oleh faktor lain.

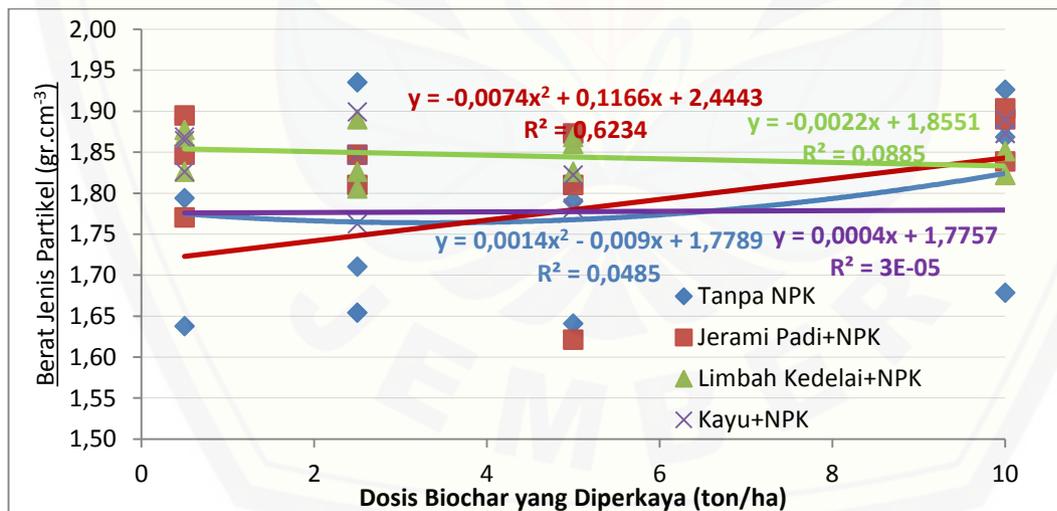
#### 4.3.2 Berat Volume Tanah



Gambar 4. Hubungan berat volume tanah setelah diperlakukan dengan biochar yang diperkaya.

Berdasarkan pada grafik 4.5, diketahui bahwa penambahan biochar kayu mampu mempengaruhi total fungi di dalam tanah sebesar 0,12% dengan menghasilkan titik optimum  $X = 4,5$ . Sedangkan penambahan biochar jerami padi + NPK mampu mempengaruhi total fungi tanah sebesar 62,34% dengan titik optimum  $X = -7,87$ . Persamaan linier regresi yang menunjukkan data penambahan biochar limbah kedelai + NPK yaitu  $Y = 0,0122x + 0,922$ . Nilai  $0,0122x$  merupakan nilai yang menunjukkan hubungan yang positif, dimana penambahan biochar limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak akan menyebabkan peningkatan berat volume total tanah, dan berkorelasi sebesar  $R=0,237$  yang berarti korelasi antara total fungi tanah terhadap pemberian biochar limbah kedelai + NPK dalam kondisi yang rendah (Tabel 4.3). Penambahan biochar kayu + NPK, memiliki nilai persamaan linier yaitu  $Y = -0,0022x + 1,0349$  dengan nilai  $R^2=0,0035$ . Nilai  $-0,0022x$  pada garis tersebut menunjukkan hubungan yang negatif, dimana penambahan biochar berbahan baku kayu + NPK yang semakin banyak, justru akan menyebabkan penurunan terhadap nilai berat volume yang terdapat di dalam tanah, sedangkan nilai  $R^2=0,0035$  menunjukkan nilai korelasi sebesar  $R=0,0592$  yang berarti korelasi antara berat volume tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK sangat rendah (Tabel 4.3).

#### 4.3.3 Berat Jenis Partikel

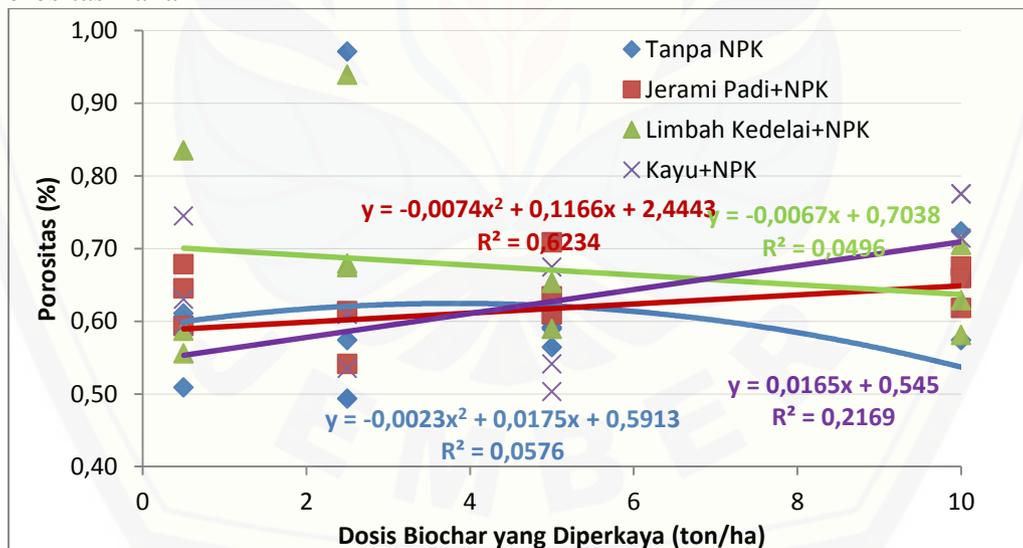


Gamabr 5. Hubungan berat jenis partikel tanah setelah diperlakukan dengan biochar yang diperkaya.

Berdasarkan pada grafik 4.6, diketahui bahwa penambahan biochar kayu mampu mempengaruhi total fungi di dalam tanah sebesar 0,48% dengan menghasilkan titik optimum  $X = 3,214$ . Sedangkan penambahan biochar jerami padi yang diperkaya dengan NPK mampu mempengaruhi total fungi tanah sebesar 62,34% dengan titik optimum  $X = -7,87$ . Penambahan biochar berbahan baku limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK, memiliki nilai persamaan

linier yaitu  $Y = -0,0022x + 1,8551$  dengan nilai  $R^2 = 0,0885$ . Nilai  $-0,0022 x$  pada garis tersebut menunjukkan hubungan yang negatif, dimana penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak, akan menyebabkan penurunan nilai berat jenis partikel yang terdapat di dalam tanah, dan memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,2979$  yang berarti korelasi antara berat jenis partikel tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK sangat rendah (Tabel 4.3). Selain nilai korelasi yang rendah, perubahan yang terjadi pada berat volume tanah hanya sebesar 8,85% saja yang dipengaruhi oleh penambahan biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK, sisanya 91,15% dipengaruhi oleh faktor lain di luar variabel bebas. Persamaan linier regresi yang menunjukkan data penambahan biochar kayu + NPK yaitu  $Y = 0,0004x + 1,7757$  dengan nilai  $R^2 = 0,00003$ . Nilai  $0,0004 x$  merupakan nilai yang menunjukkan hubungan yang positif, dimana penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak akan menyebabkan peningkatan berat jenis partikel tanah, dan memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,0054$  yakni korelasi yang terjadi antara total fungsi tanah dengan pemberian biochar berbahan baku limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK dalam kondisi yang sangat rendah (Tabel 4.3).

#### 4.3.4. Porositas Tanah



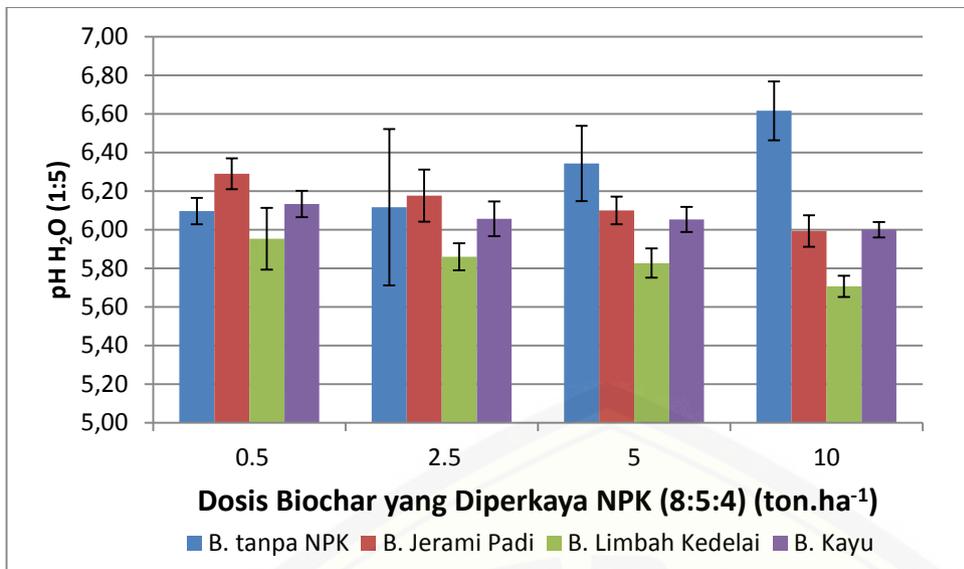
Gambar 6. Hubungan porositas tanah setelah diperlakukan dengan biochar yang diperkaya.

Berdasarkan pada grafik 4.7, diketahui bahwa penambahan biochar kayu mampu mempengaruhi porositas di dalam tanah sebesar 5,76 % dengan menghasilkan titik optimum  $X = 3,804$ . Sedangkan penambahan biochar jerami padi + NPK mampu mempengaruhi total fungsi tanah sebesar 62,34% dengan titik optimum  $X = -7,87$ . Penambahan biochar berbahan baku limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK, memiliki nilai persamaan linier yaitu  $Y = -0,0067x + 0,7038$  dengan nilai  $R^2 = 0,0496$ . Nilai  $-0,0067 x$  pada garis tersebut menunjukkan hubungan

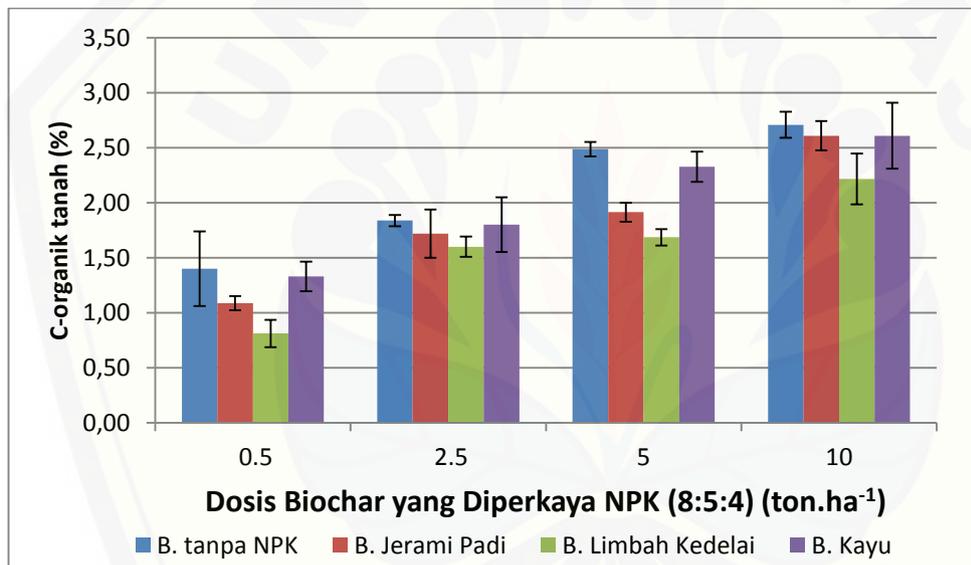
yang negatif, dimana penambahan biochar berbahan baku limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak, akan menyebabkan penurunan terhadap nilai porositas tanah, akan tetapi nilai korelasi  $R=0,223$  menunjukkan antara porositas tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK dalam kategori rendah (tabel 9). Persamaan linier regresi yang menunjukkan data penambahan biochar kayu + NPK yaitu nilai  $Y = 0,0165x + 0,545$  dengan nilai  $R^2 = 0,2169$ . Nilai  $0,0165x$  merupakan nilai yang menunjukkan hubungan yang positif, dimana penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak akan menyebabkan peningkatan nilai porositas tanah, dan nilai memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,4650$  yang berarti korelasi antara total fungsi tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK dalam kondisi yang cukup (Tabel 4.3).

### 4.3 Sifat Kimia Tanah

Tanah masam yang semula mempunyai pH 5,03 setelah ditambah biochar yang mempunyai pH  $>7$  (Tabel 1) dan ditanami kedelai dapat meningkatkan pH tanah seperti disajikan pada Gambar 2 yaitu bervariasi antara 5,83 hingga 6,62. Ada kecenderungan peningkatan penambahan biochar dan atau juga penambahan NPK (8:5:4) akan mengurangi peningkatan pH tanah tersebut. Gambaran ini berbeda apabila biochar tanpa penambahan NPK, yaitu pH tanah terus meningkat sesuai dengan penambahan atau konsentrasi biochar. Peningkatan pH tanah (y) terhadap penambahan dosis biochar,  $\text{ton.ha}^{-1}$  (x) sesuai dengan persamaan  $y = -0,06x^2 + 1,08x + 5,71$  dengan  $R^2 = 0,98$ . Biochar dapat meningkatkan pH tanah masam ini disebabkan oleh kandungan basa-basanya (K, Na, Ca dan Mg) seperti disajikan pada Tabel 1, sedangkan penambahan atau pengkayaan biochar dengan NPK yang besarnya sesuai dengan makin tinggi penambahan biochar, makin menurunkan pH apabila dibandingkan dengan yang tidak ditambah NPK. Penambahan NPK yang berasal dari Urea (46% N) dan SP36 (36%  $\text{P}_2\text{O}_5$ ) dalam proses pelarutan akan melepaskan ion-ion  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  dan  $\text{HPO}_4^{2-}$  yang bersifat masam.



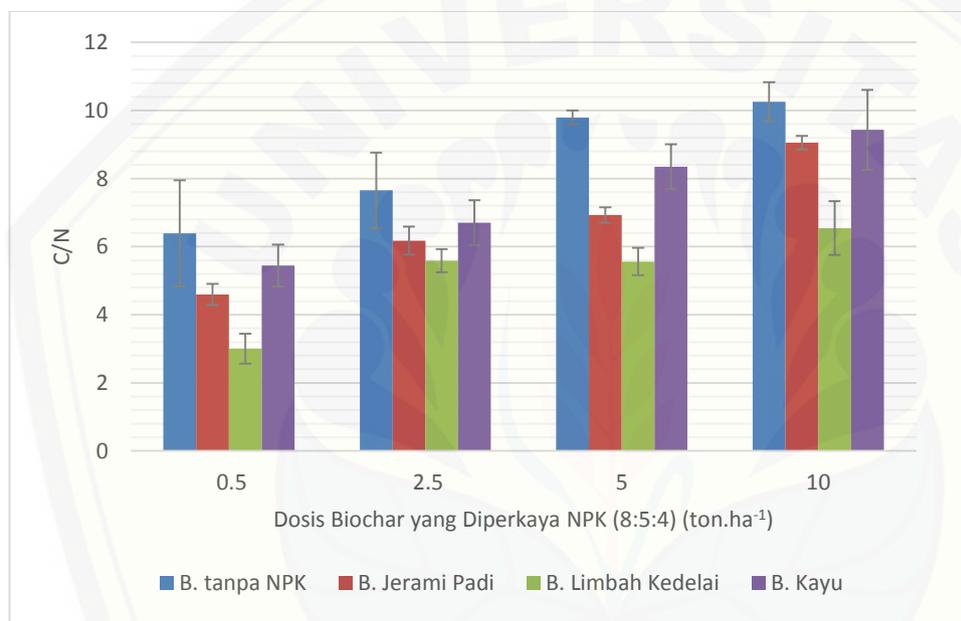
Gambar 7. Perubahan pH tanah setelah perlakuan biochar dan penanaman kedelai



Gambar 8. Perubahan C-organik tanah setelah perlakuan biochar dan penanaman kedelai

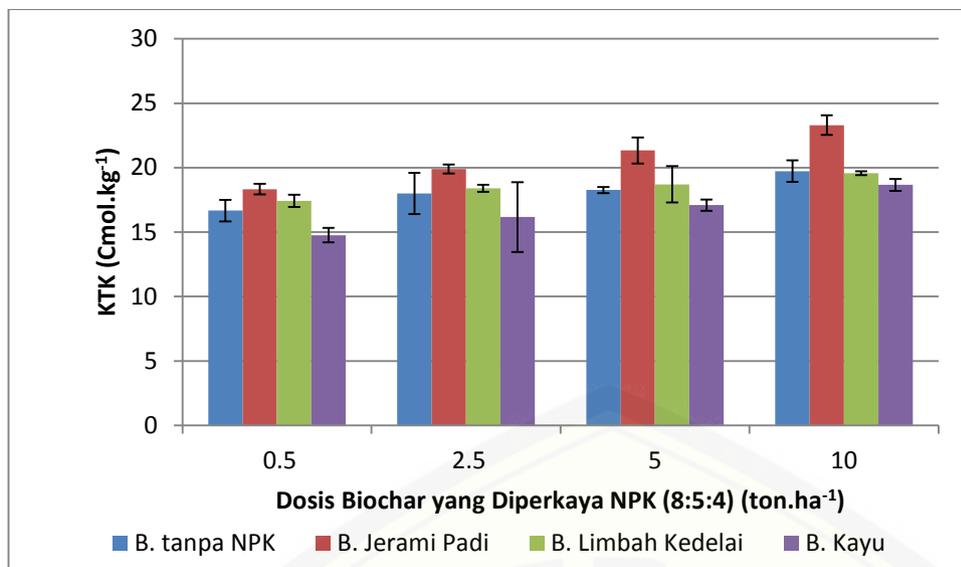
Biochar yang mempunyai kadar C sangat tinggi (yang berasal dari jerami padi 657, jerami kedelai 634, dan kayu 704 C mg.kg<sup>-1</sup>) dan perbandingan C/N yang tinggi pula terbukti meningkatkan kadar C-organik tanah setelah inkubasi dan penanaman kedelai (sekitar 2 bulan). Peningkatan C-organik tanah ini sangat penting untuk keberlanjutan usahatani dan kesehatan lingkungan. Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan biochar secara nyata meningkatkan kadar C-organik tanah dan peningkatan sesuai dengan besarnya konsentrasi penambahan. Tanah yang diperlakukan penambahan paling tinggi 10 ton/ha<sup>-1</sup> mempunyai kadar C-organik paling tinggi juga yaitu rata-rata tertinggi 2,71% atau setara dengan bahan organik tanah 4,67% (status sedang). Berdasarkan gambar ini juga sesuai dengan penjelasan sebelumnya bahwa pH tanah tertinggi pada tanah yang diperlakukan biochar tanpa pengkayaan NPK (8:5:4). Akan tetapi

setelah dilakukan perhitungan atau evaluasi keeratan hubungan atau korelasi antara kadar C-organik dan pH tanah adalah rendah yaitu 0,17 dengan  $n = 48$ . Hal ini menunjukkan bahwa nilai pH tanah tidak secara dominan dipengaruhi kadar C-organik tanah. Berdasarkan perlakuan biochar dengan pengkayaan NPK ini, nampak penambahan biochar tanpa pengkayaan NPK akan membuat c-organik dalam biochar atau di dalam tanah lebih stabil dibandingkan dengan yang diperkaya NPK, sehingga kadar C-organik tanah yang ditambah biochar saja lebih tinggi dibandingkan dengan biochar diperkaya NPK (8:5:4). Besarnya penurunan kadar C-organik tanah yang diperlakukan biochar diperkaya NPK (8:5:4) terhadap C-organik tanah yang diperlakukan biochar tanpa pengkayaan NPK yaitu untuk biochar dari jerami padi sekitar 0,28%; dari jerami kedelai 0,53%; dan kayu 0,09%.



Gambar 9. Perubahan perbandingan C/N tanah setelah perlakuan biochar dan penanaman kedelai

Nilai perbandingan C/N dalam tanah sangat penting untuk mengevaluasi ketersediaan N atau proses immobilisasi. Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa C/N tanah rendah sehingga tidak terjadi proses imobilisasi atau menunjukkan unsur hara, khususnya N, sangat tersedia. Selain itu, berdasarkan harkat kadar N-total tanah yang bervariasi 0,21 hingga 0,5% oleh Pusat Penelitian Tanah (1983) dikatakan termasuk sedang.



Gambar 10. Perubahan KTK tanah setelah perlakuan biochar dan penanaman kedelai

Sifat kimia tanah penting lainnya yang dievaluasi untuk menunjukkan pengaruh perlakuan biochar yang diperkaya pada tanah masam adalah kemampuan tanah untuk mempertukarkan kation-kationya, kapasitas tukar kation atau KTK. Berdasarkan Gambar 5 menunjukkan bahwa penambahan biochar secara nyata meningkatkan KTK tanah, khususnya biochar yang berasal dari jerami padi yang meningkat sesuai dengan persamaan  $y = 1,63x + 16,63$  dengan  $R^2 = 0,99^{**}$ . Peningkatan KTK tanah ini disebabkan oleh penambahan KTK yang berasal dari biochar, oleh karena itu peningkatan KTK tanah sesuai dengan penambahan biochar. Peningkatan KTK tanah ini bervariasi antara 0,43 hingga 3,53  $\text{Cmol.kg}^{-1}$ . Nilai KTK tanah yang diperlakukan biochar dari kayu paling rendah peningkatan dibandingkan dengan perlakuan yang lain.

Evaluasi pengaruh pemberian biochar yang diperkaya NPK (8:5:4) juga dilakukan pada ketersediaan unsur hara NPK setelah penanaman tanaman kedelai hingga fase vegetatif. Ketersediaan N-total tanah meningkat oleh penambahan biochar yang diperkaya NPK apabila dibandingkan dengan pemberian biochar saja yaitu meningkat rata-rata 0,04% dan bervariasi antara 0,02 hingga 0,08% atau dengan status ketersediaan N dalam tanah sedang. Kondisi P-tersedia tanah (ekstrak P-Bray 1) juga meningkat oleh penambahan biochar yang diperkaya NPK yaitu meningkat rata-rata 5,75 ppm  $\text{P}_2\text{O}_5$  dan bervariasi antara 2,2 hingga 12,46 ppm  $\text{P}_2\text{O}_5$  atau dengan status rendah. Ketersediaan unsur hara K dalam bentuk K-tersedia ( $\text{K}_{\text{dd}}$ ) tanah juga meningkat oleh penambahan biochar yang diperkaya NPK yaitu meningkat rata-rata 0,32 me  $\text{K}_2\text{O}.100 \text{ g}^{-1}$  dan bervariasi antara 0,1 hingga 0,73 me  $\text{K}_2\text{O}.100 \text{ g}^{-1}$  atau dengan status sedang.

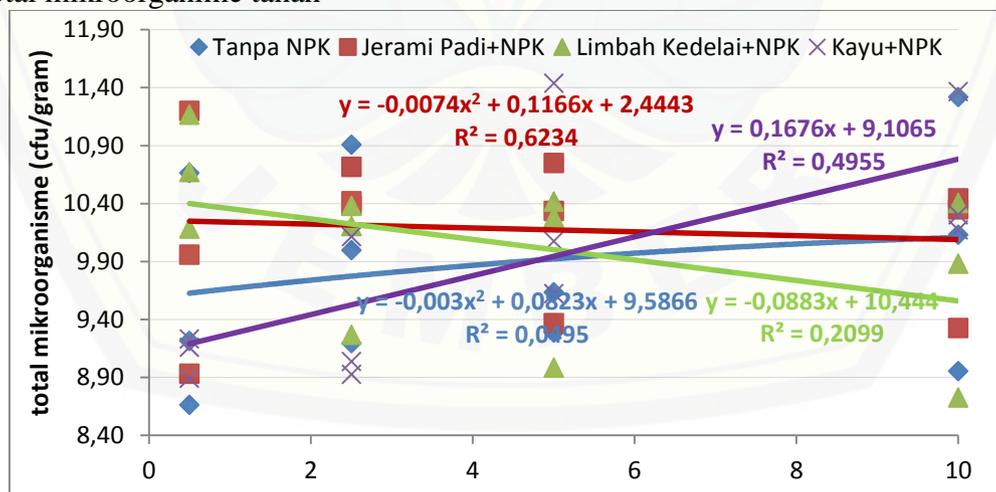
Peningkatan ketersediaan unsur hara NPK dalam tanah ini disebabkan utamanya oleh penambahan biochar yang diperkaya NPK (8:5:4) atau biochar yang mengandung unsur NPK oleh pengkayaan. Akan tetapi apabila didasarkan hasil ketersediaannya pada akhir penanaman yaitu dengan status rendah hingga sedang tersebut, maka pengkayaan biochar perlu ditingkatkan atau penambahan biochar yang diperkaya NPK (8:5:4) perlu ditingkatkan. Status P-tersedia tanah yang rendah tersebut perlu mendapat perhatian lebih karena akan dominan membatasi pertumbuhan dan produksi tanaman. Hal ini bisa dipahami karena tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tanah mineral masam atau Ultisol.

Hasil percobaan laboratorium ditunjukkan oleh Barus (2016) bahwa aplikasi biochar dan kompos memperbaiki kesuburan tanah yang ditunjukkan oleh peningkatan pH tanah dan ketersediaan hara terutama  $P_2O_5$  dan  $K_2O$  yang tersedia untuk tanaman. Selain itu juga disampaikan bahwa aplikasi campuran biochar sekam padi dan kompos lebih baik dari aplikasi tunggal dalam meningkatkan kesuburan tanah dan hasil kedelai. Aplikasi campuran biochar sekam padi  $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  dan kompos jerami  $10 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$  meningkatkan bobot gabah sekitar 41% dibanding dengan kontrol.

#### 4.4 Sifat Biologi Tanah

Sifat biologi tanah yang mewakili meliputi total mikroorganisme tanah  $289 \cdot 10^{-9}$  cfu/gram, total bakteri tanah  $211 \cdot 10^{-9}$  cfu/gram, dan total fungi tanah  $109 \cdot 10^{-8}$  cfu/gram.

##### 4.2.1 Total mikroorganime tanah

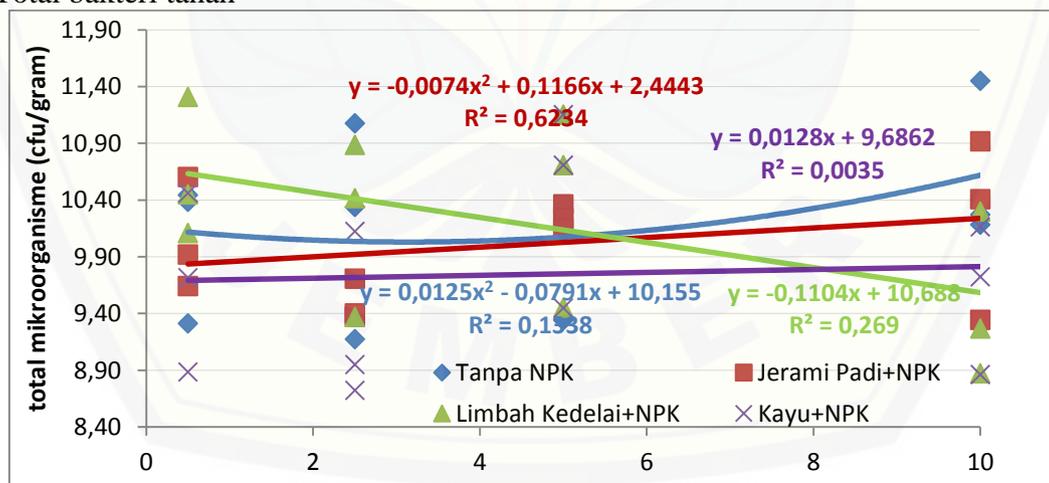


Gambar 11. Analisis regresi transformasi log total mikroorganime tanah setelah diperlakukan dengan biochar yang diperkaya.

Berdasarkan pada grafik 4.1, diketahui bahwa penambahan biochar kayu mampu mempengaruhi total mikroorganime di dalam tanah sebesar 4,95% dengan menghasilkan titik optimum  $X = 13,72$ . Sedangkan penambahan biochar jerami padi + NPK mampu mempengaruhi

total mikroorganisme tanah sebesar 62,34% dengan titik optimum  $X = 7,87$ . Persamaan linier regresi yang menunjukkan data penambahan biochar limbah kedelai yang diperkaya NPK menunjukkan nilai yang negatif, yaitu semakin tinggi pemberian biochar maka semakin rendah total mikroorganisme yang terdapat di dalam tanah, dan memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,4581$  yang berarti korelasi antara total mikroorganisme tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK dalam artian cukup (Tabel 4.3). Namun, hanya 20,99% perubahan yang terjadi pada populasi mikroorganisme tanah dipengaruhi oleh penambahan biochar berbahan baku limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK, selebihnya 79,01% dipengaruhi oleh faktor lain di luar variabel bebas. Sedangkan penambahan biochar kayu yang diperkaya dengan NPK, memiliki nilai persamaan linier yaitu  $Y = 0,1676x + 9,1065$  dengan nilai  $R^2=0,4955$ . Nilai  $0,1676x$  pada garis tersebut menunjukkan hubungan yang positif, dimana penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak akan menyebabkan peningkatan populasi total mikroorganisme yang terdapat di dalam tanah, dan memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,7039$  yang berarti korelasi antara total mikroorganisme tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK kuat (Tabel 4.3). Selain itu, sebesar 49,55% perubahan yang terjadi pada populasi mikroorganisme tanah dipengaruhi oleh penambahan biochar berbahan kayu yang diperkaya dengan NPK, sisanya 50,45% dipengaruhi oleh faktor lain di luar variabel bebas.

#### 4.2.2 Total bakteri tanah



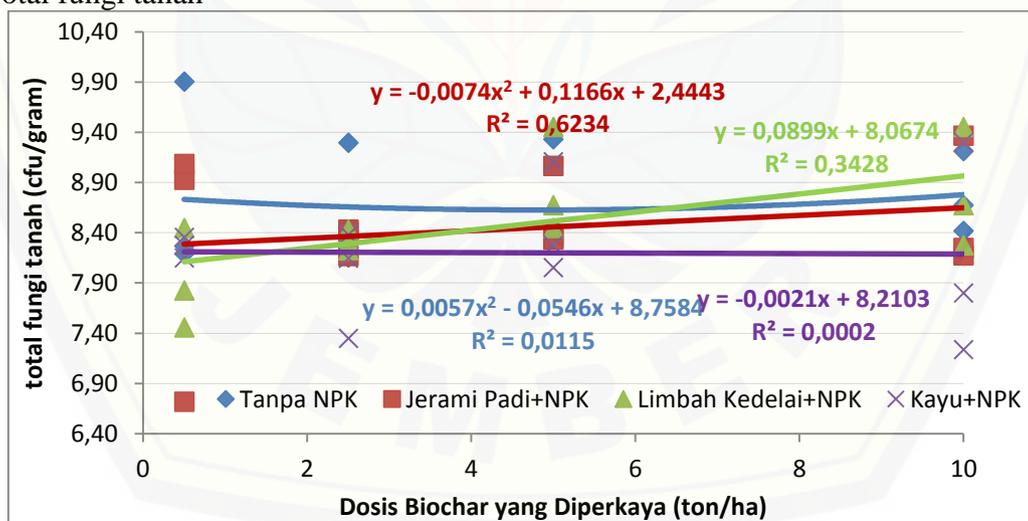
Gambar 12. Analisis regresi transformasi log total bakteri tanah setelah diperlakukan dengan biochar yang diperkaya.

Berdasarkan pada grafik 4.2, diketahui bahwa penambahan biochar kayu mampu mempengaruhi total bakteri di dalam tanah sebesar 13,38% dengan menghasilkan titik optimum  $X = 3,164$ . Sedangkan penambahan biochar jerami padi + NPK mampu mempengaruhi total bakteri tanah sebesar 62,34% dengan titik optimum  $X = 7,87$ . Persamaan linier regresi yang

menunjukkan data penambahan biochar limbah kedelai + NPK yaitu  $Y = -0,1104 x + 10,688$ . Nilai  $-0,1104 x$  menunjukkan nilai yang negatif, yaitu semakin tinggi pemberian biochar maka semakin rendah total bakteri yang terdapat di dalam tanah, dan memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,5186$  yang berarti korelasi antara total bakteri tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK dalam kisaran yang cukup (Tabel 4.3). Namun, hanya 26,9% saja perubahan yang terjadi pada populasi bakteri tanah dipengaruhi oleh penambahan biochar berbahan baku limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK, selebihnya 73,1% dipengaruhi oleh faktor lain.

Penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK, memiliki nilai persamaan linier yaitu  $Y = 0,0128 x + 9,6862$  dengan nilai  $R^2=0,0035$ . Nilai  $0,0128 x$  pada garis tersebut menunjukkan hubungan yang positif, dimana penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak akan menyebabkan peningkatan populasi total bakteri yang terdapat di dalam tanah, dan memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,0592$  yang berarti korelasi antara total bakteri tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK sangat rendah (Tabel 4.3). Selain nilai korelasi yang sangat rendah, sebesar 0,35% perubahan yang terjadi pada populasi bakteri tanah dipengaruhi oleh penambahan biochar berbahan kayu yang diperkaya dengan NPK.

#### 4.2.3 Total fungi tanah



Gambar 13. Analisis regresi transformasi log total fungi tanah setelah diperlakukan dengan biochar yang diperkaya.

Berdasarkan pada grafik 4.3, diketahui bahwa penambahan biochar kayu mampu mempengaruhi total fungi di dalam tanah sebesar 1,15% dengan menghasilkan titik optimum  $X = 4,7895$ . Sedangkan penambahan biochar jerami padi + NPK mampu mempengaruhi total fungi tanah sebesar 62,34% dengan titik optimum  $X = -7,87$ . Persamaan linier regresi yang menunjukkan data penambahan biochar limbah kedelai + NPK yaitu  $Y = 0,0899 x + 8,0674$ .

Nilai 0,0899 x merupakan nilai yang menunjukkan hubungan yang positif, dimana penambahan biochar berbahan baku limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak akan menyebabkan peningkatan populasi total fungi yang terdapat di dalam tanah, dan memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,5855$  yang berarti korelasi antara total fungi tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK dalam kondisi yang cukup (Tabel 4.3). Namun, hanya 34,28% perubahan yang terjadi pada populasi fungi tanah dipengaruhi oleh penambahan biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK, sisanya 65,72% perubahan pada fungi tanah dipengaruhi oleh faktor lain di luar variabel bebas.

Penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK, memiliki nilai persamaan linier yaitu  $Y = -0,0021 x + 8,2103$  dengan nilai  $R^2=0,0002$ . Nilai  $-0,0021 x$  pada garis tersebut menunjukkan hubungan yang negatif, dimana penambahan biochar berbahan baku kayu yang diperkaya dengan NPK yang semakin banyak, justru akan menyebabkan penurunan populasi total fungi yang terdapat di dalam tanah, dan memiliki nilai korelasi sebesar  $R=0,01414$  yang berarti korelasi antara total bakteri tanah terhadap pemberian biochar berbahan limbah kedelai yang diperkaya dengan NPK sangat rendah (Tabel 4.3). Selain nilai korelasi yang sangat rendah, perubahan yang terjadi pada populasi fungi tanah hanya sebesar 0,02% saja yang dipengaruhi oleh penambahan biochar berbahan kayu yang diperkaya dengan NPK.

#### 4.5 Pertumbuhan Tanaman Kedelai

Pertumbuhan tanaman kedelai pada tanah masam yang diperlakukan kombinasi sumber biochar dengan penambahan NPK dievaluasi berdasarkan tinggi tanaman, berat basah, berat kering, jumlah dan berat bintil akar serta serapan NPK, seperti disajikan pada Tabel 4. Pertumbuhan tanaman berdasarkan berat kering sangat nyata oleh peningkatan penambahan biochar 5 dan 10  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ , serta mempunyai kecenderungan terus meningkat khususnya biochar dari kayu dan jerami padi dan diperkaya NPK yaitu berturut turut adalah 5,10 dan 5,66 g untuk biochar jerami padi + NPK (8:5:4) serta 5,14 dan 5,11 g untuk biochar jerami padi + NPK (8:5:4). Berbeda dengan perlakuan biochar yang tidak diperkaya NPK, pertumbuhan tanaman relatif sama atau berbeda tidak nyata (bervariasi antara 3,55 hingga 4,02 g) walaupun biochar ditingkatkan hingga 10  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Pertumbuhan tanaman ini sangat erat atau sangat nyata hubungannya dengan serapan NPK yang meningkat sesuai dengan penambahan biochar atau berkorelasi positif. Hubungan berat kering tanaman dengan serapan N positif dan sangat nyata yaitu  $r = 0,72^{**}$ ; dan  $0,32^{ns}$  dengan serapan P, serta  $0,98^{**}$  serapan K.

Secara umum serapan NPK tanaman kedelai hingga pertumbuhan vegetatif terhadap perlakuan biochar khususnya berdasarkan sumber biochar menunjukkan bahwa biochar dari jerami padi lebih tinggi dibandingkan dengan kayu dan jerami kedelai. Apabila serapan tersebut

dilihat berdasarkan dosis biochar menunjukkan peningkatan dosis hingga 5 ton.ha<sup>-1</sup> dan menurun apabila dosis ditingkatkan hingga 10 ton.ha<sup>-1</sup>. Penurunan serapan NPK pada dosis paling tinggi yaitu 10 ton.ha<sup>-1</sup> ini diduga disebabkan oleh ketidaksesuaian kesetimbangan antara kadar C dalam biochar dengan NPK yang ditambahkan, sehingga perlu dilakukan penelitian lanjutan dalam hubungannya dengan makin tinggi biochar yang diberikan diikuti dengan makin tinggi NPK yang ditambahkan sebagai bahan pengkayaan. Selain itu kemungkinan juga ada hubungannya dengan kecepatan dekomposisi biochar. Hasil penelitian Milla, *et al.* (2013) menunjukkan adanya perbedaan kecepatan dekomposisi biochar berdasarkan sumber biochar dan dosis penambahannya dalam tanah.

Berbeda dengan hubungan berat kering tanaman terhadap serapan NPK, hubungan berat kering tanaman dengan jumlah bintil justru negatif atau berbanding terbalik. Hubungan negatif dan nyata juga ditunjukkan pada peningkatan berat bintil akar terhadap tinggi tanaman yaitu -0,54\*. Hal ini erat hubungannya dengan kondisi atau ketersediaan unsur hara NPK di dalam tanah. Tanah-tanah yang mempunyai ketersediaan N yang tinggi justru menurunkan jumlah dan aktivitas bintil akar. Aktivitas bintil akar adalah memfiksasi N-atmosfer oleh bakteri rhizobium yang bersimbiosis dengan tanaman inang (kedelai) dalam bintil tersebut.

Hasil yang sama juga diinformasikan oleh Milla, *et al.* (2013) yaitu penggunaan biochar dari sekam padi dan kayu dapat meningkatkan pertumbuhan water spinach yang ditunjukkan dari peningkatan produksi biomas. Peningkatan pertumbuhan ini juga diawali dengan perbaikan sifat tanah seperti perbandingan WHC/debu dan bahan organik/C-organik.

Tabel 4. Beberapa variabel pertumbuhan tanaman kedelai terhadap perlakuan biochar

Sumber Biochar	Dosis	Tinggi tanaman umur 5 minggu	Berat basah	Berat Kering	Berat basah bintil	Jumlah Bintil	Serapan		
							N	P	K
	ton.ha <sup>-1</sup>	.. cm ..	..... g .....	..... g .....	..... g .....		..... % .....	..... % .....	..... % .....
Biochar Tanpa NPK	0.5	29,70	15,27	3,55	0,95	34	2,84	0,069	2,08
	2.5	37,23	16,57	3,75	1,14	44	3,25	0,070	2,54
	5	36,77	18,47	4,02	1,24	50	3,36	0,085	3,39
	10	32,50	16,14	3,72	1,28	52	3,54	0,088	3,12
Biochar Jerami Padi + NPK (8:5:4)	0.5	36,17	17,10	3,71	0,81	28	3,52	0,114	2,64
	2.5	34,80	16,15	3,64	0,98	36	3,41	0,142	2,88
	5	39,50	31,81	5,14	0,88	31	3,73	0,133	4,90
	10	44,17	32,99	5,11	0,74	25	3,87	0,103	5,31
Biochar Jerami Kedelai + NPK (8:5:4)	0.5	36,32	15,72	3,65	0,79	27	3,39	0,083	2,52
	2.5	40,30	21,31	4,21	0,95	34	3,64	0,107	3,06
	5	37,62	29,36	4,92	0,94	34	3,76	0,110	4,47
	10	37,73	31,31	5,08	0,45	17	4,10	0,079	4,88
	0.5	36,05	16,13	3,67	0,84	29	3,84	0,101	2,57

Biochar Kayu + NPK (8:5:4)	2.5	38,35	18,58	3,95	1,05	39	4,12	0,124	2,80
	5	40,37	29,45	5,10	0,89	31	4,13	0,129	4,80
	10	45,58	36,58	5,66	0,61	21	4,28	0,115	5,51
LSD <sub>5%</sub>		20,01	4,44	0,41	0,20	7,75	0,30	0,093	0,09
CV (%)		9,15	11,73	5,64	13,11	14,0	9,33	11,11	6,12

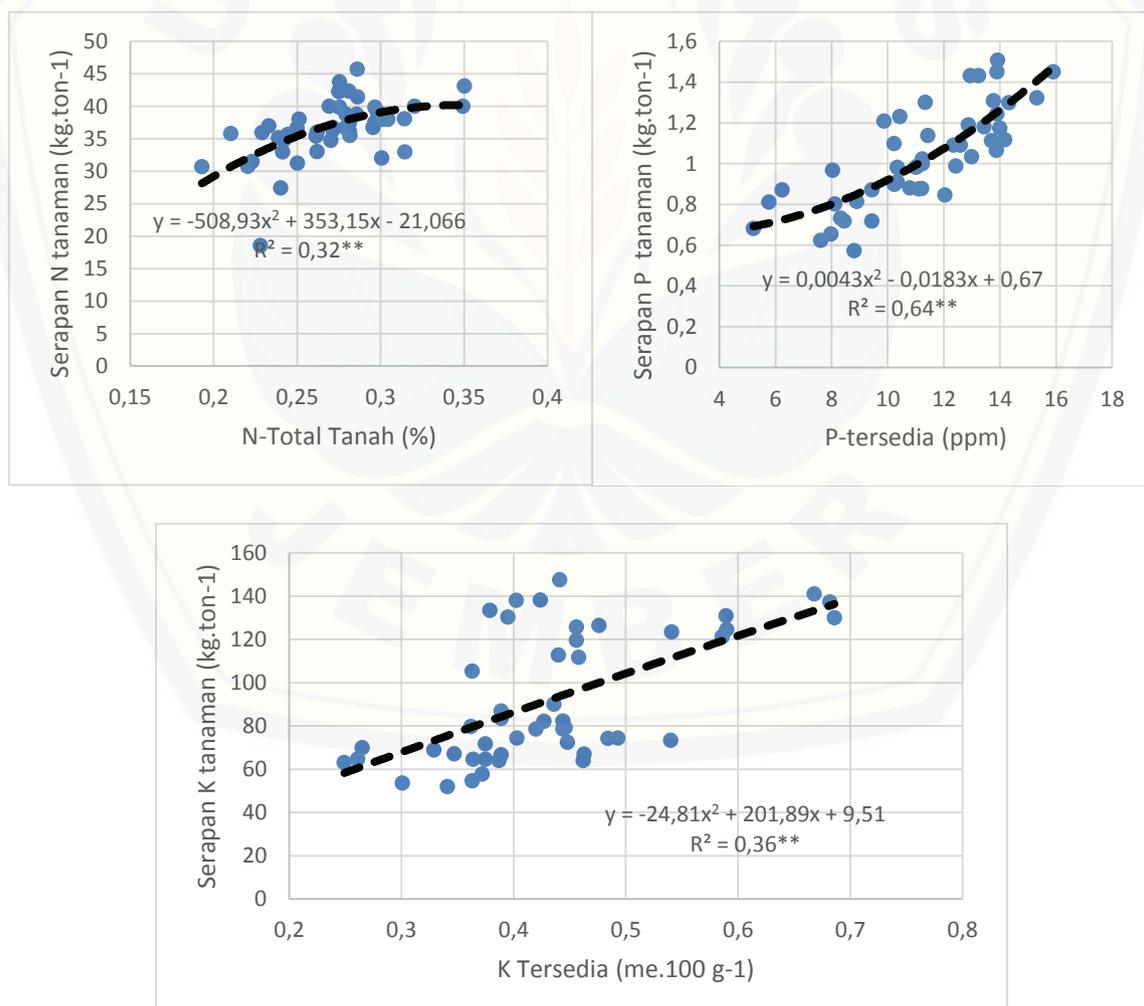
Tanaman kedelai dalam pertumbuhannya dapat berasosiasi dengan bakteri rhizobium secara saling menguntungkan atau simbiosis mutualisme dengan membentuk bintil akar. Bakteri rhizobium tersebut mempunyai kemampuan untuk memfiksasi N-atmosfer (N<sub>2</sub>) untuk pertumbuhannya dan bahkan juga untuk tanaman kedelai (inangnya), sedangkan tanaman inangnya berkontribusi dengan memberikan substratnya (sumber energi untuk aktivitas) (Li, *et al.*, 2014). Dalam hasil penelitian ini, bintil akar menunjukkan pertumbuhan dan perkembangan yang baik yaitu jumlahnya pertanaman bervariasi 12 hingga 56 dengan rata-rata 33, sedangkan berat basahanya bervariasi antara 0,17 hingga 1,34 gram.tanaman<sup>-1</sup> dengan rata-rata 0,9 gram.tanaman<sup>-1</sup> (Tabel 4). Hasil evaluasi bintil akar tanaman kedelai ini menunjukkan bahwa pertumbuhan dan perkembangannya berhubungan secara negatif dengan N-total dalam tanah, walaupun secara statistik tidak nyata atau rendah (korelasi antara N-total dengan jumlah bintil -0,27; dan dengan berat basahanya -0,30). Sebagian besar (sekitar 91%) bintil atau nodul yang terbentuk di akar termasuk efektif karena ukurannya relatif besar dan berwarna merah di dalamnya. Bentuk hubungan antara kondisi tanah, khususnya kadar N-total tanah, yaitu makin tinggi kadar N-total tanah akan menurunkan jumlah dan berat bintil akar atau hubungannya negatif (Gambar 6).



Gambar 14. Hubungan antara ketersediaan N tanah (N-total) dengan jumlah (kiri) dan berat bintil akar (kanan) tanaman kedelai

#### 4.6 Pertumbuhan Tanaman dalam Hubungan dengan Tanah

Hubungan antara tanah dan tanaman sangat erat karena semua unsur hara tanaman sebagian besar atau seluruhnya berasal dari tanah. Oleh karena itu, upaya memperbaiki tanah sesuai dengan yang dibutuhkan tanaman sangat penting dalam upaya meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman. Perlakuan kombinasi antara asal atau sumber biochar dan pengkayaan dengan NPK (8:5:4) pada berbagai dosis biochar terbukti dapat meningkatkan atau memperbaiki sifat-sifat kimia tanah masam seperti pH, C-organik, KTK, dan kadar NPK tanah. Perbaikan sifat-sifat kimia tanah ini juga diikuti dengan peningkatan atau perbaikan serapan N, P, dan K tanaman seperti disajikan pada gambar berikut. Gambar 7 menunjukkan serapan N tanaman meningkat secara sangat nyata sesuai peningkatan kadar N-total dalam tanah mengikuti persamaan  $y = -508,93x^2 + 353,15x - 21,07$  ( $y$  serapan N,  $\text{kg.ton}^{-1}$  dan  $x$  kadar N-total tanah, %); sedangkan peningkatan serapan P dan K tanaman juga sangat nyata sesuai dengan peningkatan ketersediaannya di dalam tanah mengikuti persamaan sebagai berikut:  $y = 0,0043x^2 - 0,0183x + 0,67$  (untuk P) dan  $y = -24,81x^2 + 201,89x + 9,51$  (untuk K).

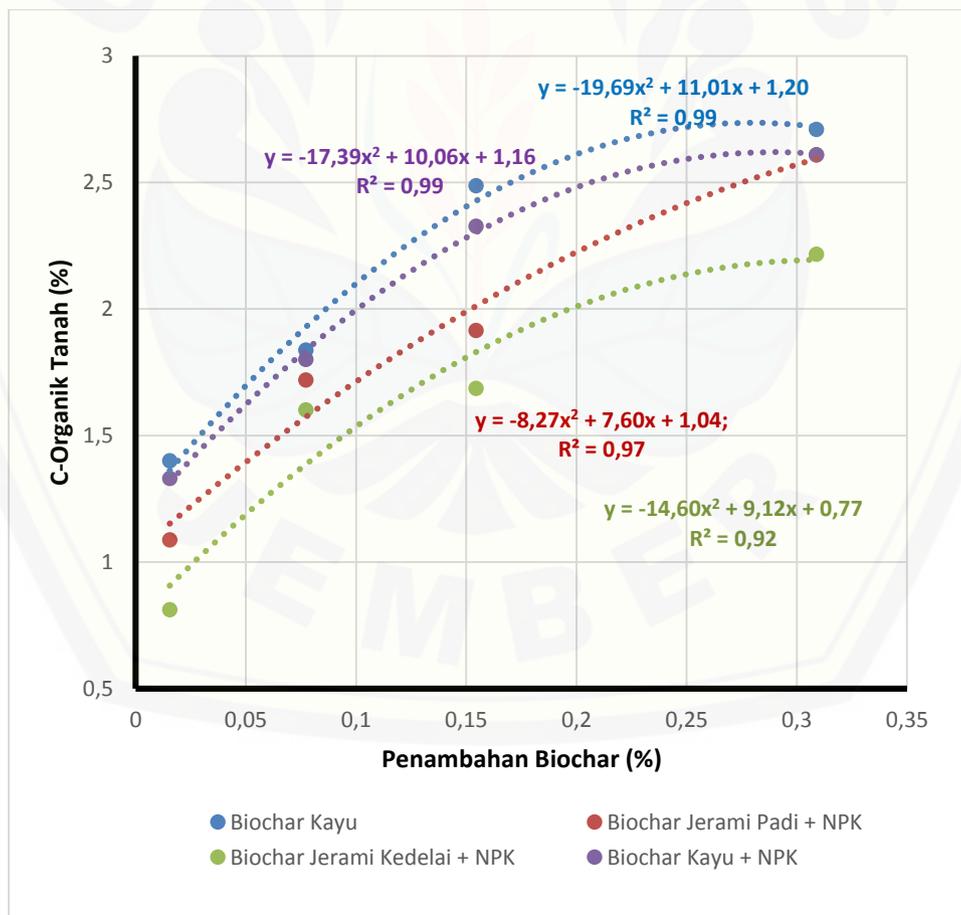


Gambar 15. Hubungan antara ketersediaan NPK dalam tanah dan serapannya tanaman kedelai

Hubungan yang sangat nyata tersebut menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman kedelai (Tabel 4) pada tanah masam dipengaruhi oleh perbaikan sifat-sifat kimia tanah oleh perlakuan beberapa kombinasi antara asal atau sumber dan dosis biochar serta pengkayaan dengan NPK (8:5:4). Perbaikan sifat-sifat kimia tanah masam seperti pH, C-organik, dan KTK dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara makro tanaman (NPK) sehingga tanaman juga meningkat serapannya. Peningkatan serapan unsur hara NPK tanaman ini selanjutnya berpengaruh pada pertumbuhan tanaman yang ditunjukkan oleh tinggi tanaman, berat basah dan berat kering tanaman.

#### 4.7 Dekomposisi atau stabilitas biochar

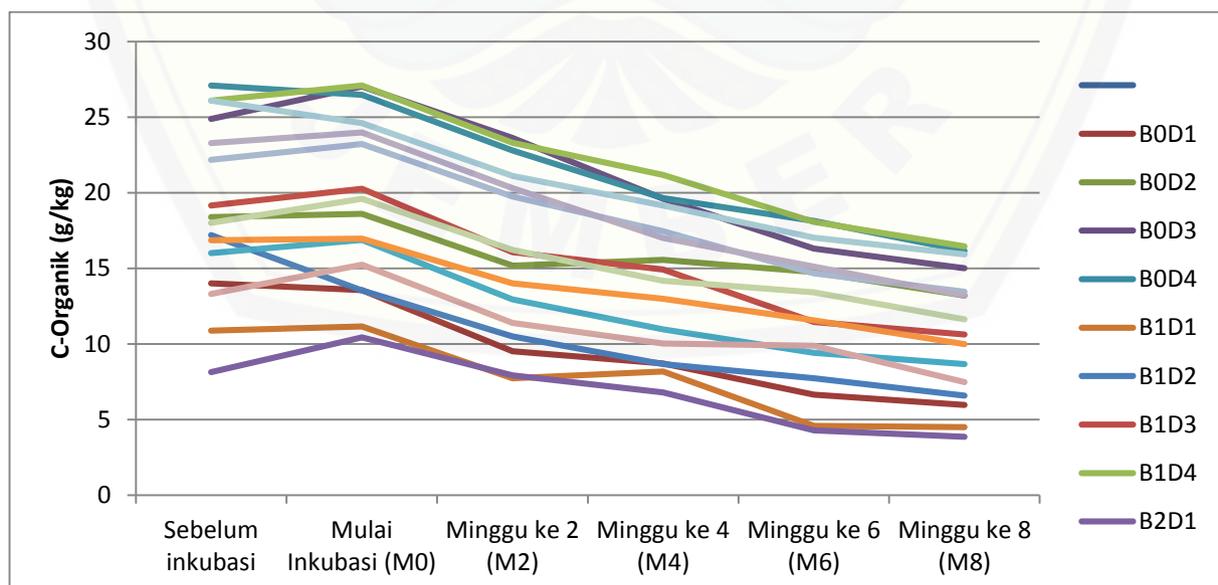
Permasalahan utama kesuburan atau kualitas tanah di tropika basah adalah sangat besarnya proses dekomposisi, khususnya bahan organik (C-organik) tanah dan sering tidak cukupnya jumlah penambahan bahan organik ke dalam tanah (lebih rendah) sehingga kadar bahan organik tanah makin lama makin rendah. Pada hal bahan organik tanah merupakan faktor kunci untuk mempertahankan kesuburan dan kualitas tanah.



Gambar 16. Kadar C-organik tanah berdasarkan penambahan biochar dari berbagai sumber

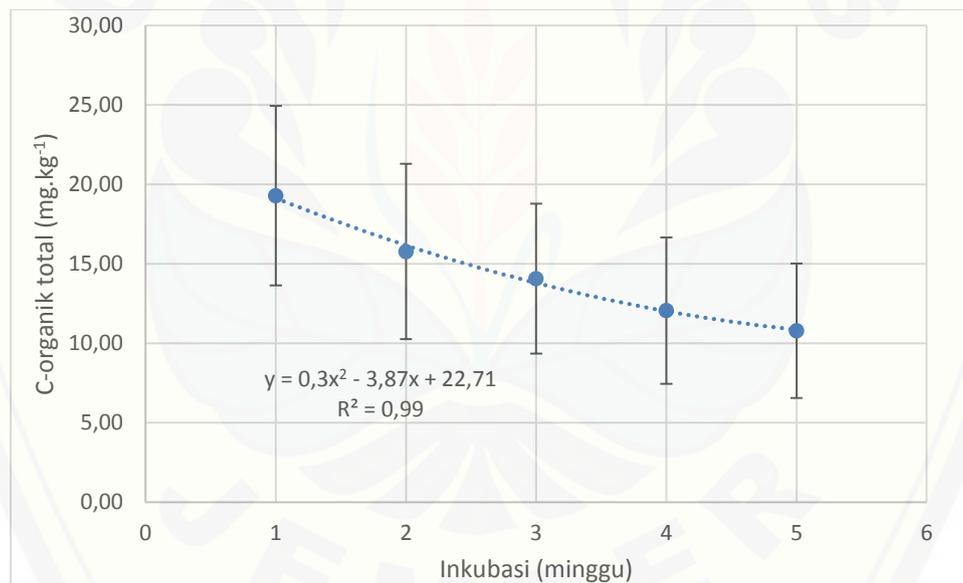
Pengaruh pemberian biochar dari beberapa sumber baik yang telah diperkaya NPK dan tidak terhadap kadar bahan organik (C-organik) tanah masam (Ultisol) ditunjukkan pada Gambar 2. Secara umum peningkatan penambahan biochar akan meningkatkan kadar C-organik tanah. Pada perlakuan dosis yang sama tetapi asal biochar yang berbeda, berbeda pula kadar C-organik tanahnya yaitu yang diperlakukan penambahan biochar yang tidak diperkaya NPK paling tinggi (biochar kayu). Berdasarkan Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa peningkatan dosis biochar yang ditambahkan pada tanah masam akan meningkatkan kadar C-organik tanah dengan pola yang relatif sama yaitu secara kuadratik. Selain itu juga menunjukkan bahwa biochar dari berbeda sumber berbeda pula kontribusi pada penambahan C-organik tanah. Perlakuan pengkayaan biochar dengan NPK (8:5:4) juga menyebabkan berbeda dalam pengaruhnya pada kadar C-organik tanah. Perbedaan pengaruh pada kadar C-organik tanah ini menunjukkan perbedaan kecepatan dekomposisi biochar yaitu pengkayaan biochar dengan NPK tersebut meningkatkan proses dekomposisinya atau juga dapat dikatakan menurunkan stabilitasnya di dalam tanah.

Persentase penurunan C-organik tanah oleh peningkatan dekomposisi biochar yang telah diperkaya NPK terhadap biochar yang tidak diperkaya, berdasarkan sumber asal biochar dari kayu paling rendah (0,09%) dibandingkan dengan dari jerami padi (0,28%) atau kedelai (0,53%). Hal ini bisa dipahami karena biochar makin kaya (C/N dan C/P lebih rendah) akan makin merangsang aktivitas mikrobiologi untuk melakukan dekomposisi. Akan tetapi berdasarkan hasil evaluasi korelasi ( $r$ ) antara kadar C-organik tanah dengan kerapatan mikroba (total mikroba), kerapatan fungi, dan bakteri kecil atau tidak berbeda nyata yaitu berturut-turut 0,05; 0,14; dan -0,02.

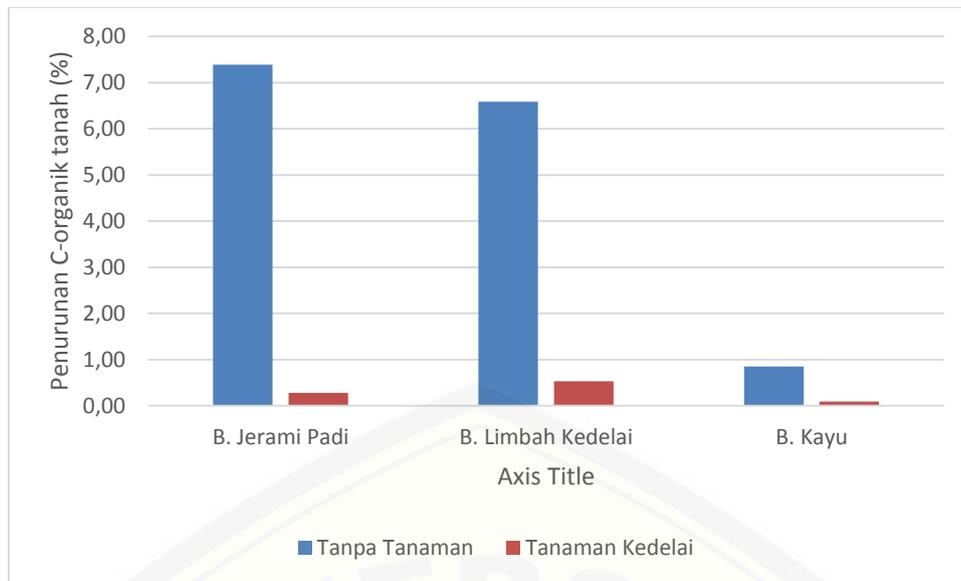


Gambar 17. Stabilitas biochar dari berbagai sumber dan pengkayaan NPK pada tanah masam tanpa penanaman.

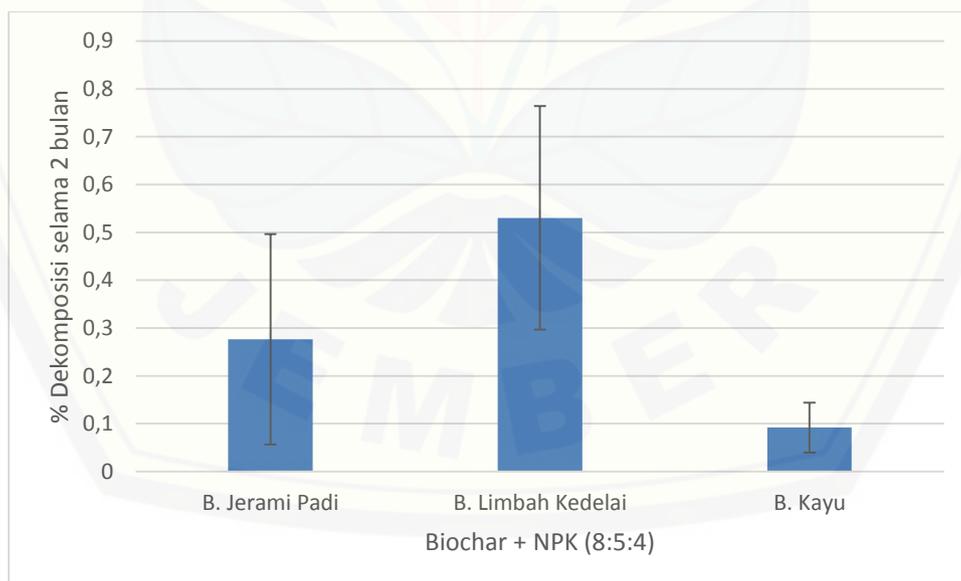
Gambar 3 menunjukkan bahwa biochar baik yang belum diperlakukan maupun yang sudah diperlakukan NPK (8:5:4) dari berbagai sumber (kayu, jerami padi, dan kedelai) pada tanah masam menurun hingga 45,9% dan bervariasi antara 29,07 hingga 63% pada 8 minggu inkubasi. Rata-rata penurunan C-organik tanah tersebut paling tinggi pada perlakuan biochar dari sumber jerami padi yaitu 49,54%; diikuti berturut-turut jerami kedelai yaitu 48,74%; kayu yaitu 43%; dan terakhir kayu yang tidak diperkaya yaitu 42,15%. Apabila biochar kayu yang tidak diperlakukan dengan pengkayaan NPK (8:5:4) sebagai pembandingan maka pengkayaan NPK tersebut meningkatkan dekomposisi C-organik tanah total sebesar 7,39% pada biochar jerami padi; dan diikuti 6,59% untuk jerami kedelai; serta paling kecil yaitu sebesar 0,85% untuk biochar dari kayu. Secara umum penurunan C-organik total tanah setelah ditambah biochar dari berbagai perlakuan mengikuti persamaan  $Y = 0,3X^2 - 3,87X + 22,71$  dengan  $R^2 = 0,99$  ( $Y$  = kadar C-organik tanah,  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  dan  $X$  = waktu inkubasi dalam minggu). Keragaman data kadar C-organik tanah pada berbagai perlakuan tersebut sangat tinggi sehingga tidak nyata untuk  $\alpha = 5\%$ . Gambaran tersebut selengkapnya disajikan dalam gambar berikut.



Penurunan C-organik tanah tanpa penanaman tanaman kedelai ini (rata-rata 4,94%) jauh lebih tinggi dibandingkan dengan penurunan C-organik tanah pada tanah yang ditanami kedelai (disajikan pada Gambar 3, rata-rata 0,30%) yaitu lebih dari 10 kali atau 1000% (bervariasi antara 26,38 hingga 9,47 (rata-rata 16,09 kali).



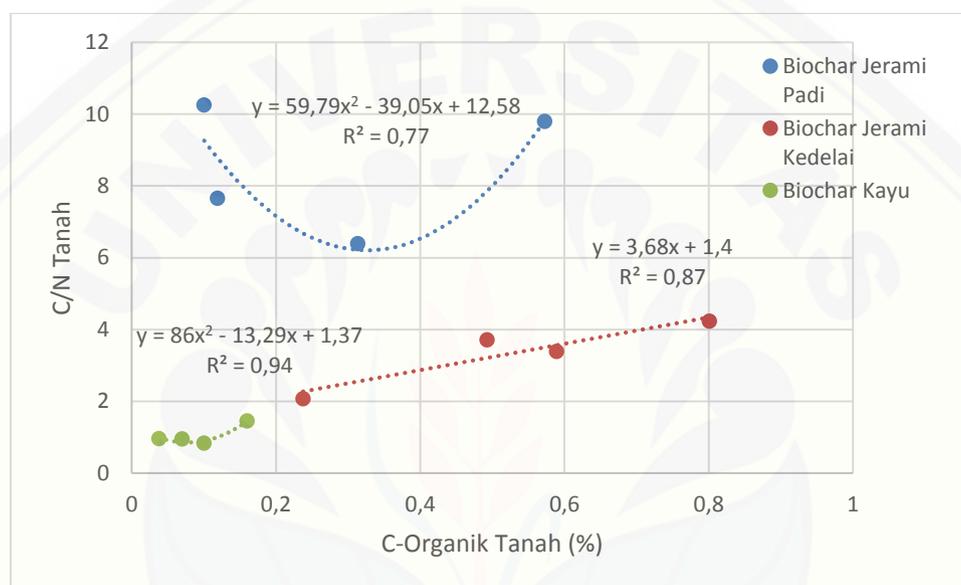
Selanjutnya berdasarkan gambaran ini perubahan atau dekomposisi biochar ini khususnya yang berasal dari pool labil (Wang, *et al.*, 2015). Proses atau jumlah biochar yang terdekomposisi awalnya meningkat secara logaritma dan menurun berdasarkan waktu. Mean residence time atau rata-rata waktu tinggalnya C biochar berdasarkan pool labil dan rekalsitran diperkirakan sekitar 108 hari dan 556 tahun dengan ukuran pool berturut-turut 3% dan 97%. (sudah ada di pendahuluan)



Gambar 18. Peningkatan kecepatan dekomposisi biochar dari berbagai sumber setelah diperkaya dengan NPK

Peningkatan kecepatan dekomposisi biochar dari berbagai sumber setelah diperkaya dengan NPK dihitung berdasarkan perbedaan antara biochar diperkaya NPK (8:5:4) dengan biochar saja yaitu kayu di bawah 0,1%; akan tetapi lebih tinggi menjadi 2,8 kali apabila dengan bahan jerami

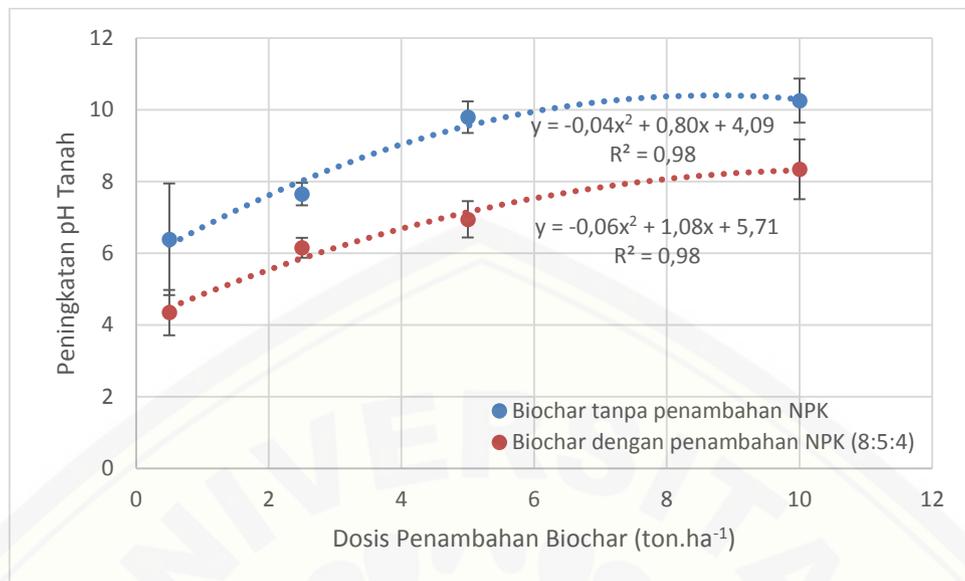
padi (0,28%) dan lebih dari 5 kali dengan jerami kedelai 0,53%. Selengkapnya disajikan pada gambar 3. Berdasarkan gambaran ini menunjukkan bahwa pengkayaan biochar dengan NPK sehingga dapat memperbaiki sifat-sifat kesuburan tanah dan produksi tanaman berdampak pada kecepatan dekomposisi biochar tersebut. Walaupun demikian berdasarkan Wang, *et al.* (2015) bahwa yang terdekomposisi tersebut berasal dari pool labil yang kadarnya sangat rendah yaitu 3% dari total dan mean residence time, MRT-nya, sekitar 108 hari, sedangkan selebihnya pool rekalsitran (97%) MRT-nya jauh lebih lama yaitu hingga 556 tahun. Dengan telah diketahui pola dan besaran dekomposisi biochar ini dapat dihitung atau diperkirakan berapa jumlah dan periode biochar yang ditambahkan pada tanah-tanah pertanian.



Gambar 19. C/N tanah masam setelah ditambah biochar yang diperkaya NPK (8:5:4) dan penanaman kedelai

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan bahwa C/N tanah setelah ditambah biochar diperkaya NPK (8:5:4) menjadi rendah hingga sangat rendah. Hal ini disebabkan bahwa C/N biochar setelah diperkaya NPK sangat rendah yaitu 3,86 yang artinya semua N yang ada di dalam biochar tersedia. Unsur N yang digunakan untuk memperkaya biochar berasal dari urea (46% N). Gambar 4 tersebut juga menunjukkan bahwa korelasi antara C-organik dengan C/N tanah setelah diperlakukan biochar NPK (8:5:4) sangat tinggi yaitu berturut-turut biochar dari kayu 0,94; jerami kedelai 0,87; dan dari jerami padi 0,77. Korelasi ini menunjukkan bahwa makin tinggi kadar C-organik tanah makin tinggi pula C/N tanah. Gambaran C/N tanah ini, apabila dihubungkan dengan kecepatan dekomposisi biochar (Gambar 3) menunjukkan bahwa C/N tanah yang diperlakukan dengan biochar kayu paling rendah (ketersediaan N paling tinggi). Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan N yang tinggi pada tanah yang diperlakukan biochar kayu, mikrobia masih belum mampu untuk meningkatkan dekomposisinya, khususnya C-organik yang

masuk dalam pool stabil atau rekalsitran. Hal ini juga diperkuat hasil penelitian Wang, *et al.* (2015) bahwa kadar pool labil biochar sangat kecil yaitu hanya 3%.



Gambar 20. Perbedaan peningkatan pH tanah masam setelah penambahan biochar yang diperkaya NPK dan tidak

Penambahan biochar pada tanah masam dapat meningkatkan pH dan peningkatan pH tanah sesuai dengan dosis penambahannya, yaitu makin tinggi makin besar pula peningkatan pH-nya (Gambar 5). Peningkatan pH tanah masam yang semula 4,2 dapat menjadi lebih dari 10 dengan penambahan 10 ton.ha<sup>-1</sup>. Peningkatan pH tanah masam ini disebabkan oleh basa-basa (K, Ca, Mg, dan Na) yang dikandung oleh biochar yang besar (Tabel 1). Peningkatan pH tanah ini akan menurun lagi apabila biochar diperkaya dengan NPK menjadi biochar 8:5:4. Penurunan pH hingga hampir 2 digit atau sangat besar. Dalam banyak literatur nilai pH tanah ini banyak mempengaruhi proses-proses di dalam tanah seperti dekomposisi, pelarutan, dan ketersediaan hara serta aktivitas mikrobia (Shen, *et al.*, 2013).

#### 4.8 Efisiensi biochar diperkaya NPK terhadap serapan NPK dan berat kering tanaman kedelai dan rekomendasinya

Dalam penelitian ini terjadi peningkatan efisiensi serapan hara NPK dan berat kering tanaman kedelai oleh pengkayaan biochar dengan NPK. Efisiensi serapan N tertinggi pada biochar dari kayu (21%), diikuti oleh jerami kedelai dan padi; untuk serapan P dan K tertinggi pada jerami padi (35 dan 26%) dan diikuti oleh kayu dan kedelai; untuk berat kering tanaman kedelai tertinggi pada kayu (16%) baru diikuti oleh jerami kedelai dan padi. Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan pemanfaatan biochar kayu yang mempunyai kadar C atau C/N tinggi

dan diperkaya NPK bisa menjadi alternatif teknologi pengelolaan lahan untuk mempertahankan C-organik tanah tinggi di lahan-lahan intensifikasi.

Pengkayaan biochar menjadi biochar NPK 8:5:4 menyebabkan penurunan stabilitasnya di dalam tanah atau meningkatkan kecepatan dekomposisinya seperti telah dijelaskan di atas. Akan tetapi apabila dilihat dari aspek serapan hara NPK oleh tanaman kedelai yang ditanam pada tanah masam akan meningkatkan atau menguntungkan. Pada umumnya serapan meningkat sesuai dengan penambahan dosis biochar yang diperkaya NPK. Peningkatan serapan NPK tanaman kedelai selain disebabkan oleh peningkatan dosis biochar tersebut, juga disebabkan oleh pengkayaan NPK. Peningkatan serapan unsur hara tanaman paling tinggi terjadi pada unsur P yaitu pada biochar 8:5:4 dari jerami padi, khususnya pada dosis 2,5 ton.ha<sup>-1</sup>. Peningkatan serapan NPK oleh tanaman ini selanjutnya berpengaruh menaikkan efisiensi serapan NPK tanaman kedelai.

Tabel 4. Serapan dan efisiensi NPK tanaman kedelai oleh pengkayaan NPK pada biochar

Biocar + NPK	Dosis ton.ha <sup>-1</sup>	Serapan (%)			Efisiensi			Efisiensi Berat Kering
		N	P	K	N	P	K	
Biochar Tanpa NPK	0,5	2,84	0,069	1,50				
	2,5	3,25	0,070	1,73				
	5	3,36	0,085	2,16				
	10	3,54	0,088	2,15				
Biochar Jerami Padi + NPK (8:5:4)	0,5	3,52	0,114	1,83	0,193	0,396	0,213	0,044
	2,5	3,41	0,142	2,03	0,048	0,507	0,121	0,031
	5	3,73	0,133	2,44	0,099	0,362	0,309	0,217
	10	3,87	0,103	2,66	0,086	0,142	0,412	0,272
Biochar Jerami Kedelai + NPK (8:5:4)	0,5	3,39	0,083	1,78	0,162	0,167	0,175	0,026
	2,5	3,64	0,107	1,86	0,106	0,346	0,170	0,109
	5	3,76	0,110	2,33	0,106	0,230	0,243	0,182
	10	4,10	0,079	2,46	0,137	-0,117	0,361	0,268
Biochar Kayu + NPK (8:5:4)	0,5	3,84	0,101	1,79	0,261	0,318	0,190	0,033
	2,5	4,12	0,124	1,82	0,212	0,436	0,095	0,050
	5	4,13	0,129	2,41	0,186	0,340	0,294	0,212
	10	4,28	0,115	2,50	0,173	0,232	0,434	0,343
LSD <sub>5%</sub>		0,57	0,019	0,13	0,081	0,08	0,013	0,018
CV (%)		9,33	11,11	3,73	4,960	5,05	0,770	1,120

Perhitungan efisiensi didasarkan peningkatan serapan unsur hara NPK tanaman yang diperlakukan dengan biochar yang diperkaya NPK 8:5:4 terhadap perlakuan biochar yang tidak diperkaya NPK dibagi dengan serapan NPK tanaman yang diperlakukan dengan biochar yang diperkaya NPK 8:5:4. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa efisiensi pada dosis dan sumber yang berbeda tidak menunjukkan pola yang pasti; akan tetapi berdasarkan unsur hara nampak

bahwa unsur P paling tinggi (50,7% pada penambahan biochar jerami padi 8:5:4 dan dosis 2,5 ton.ha<sup>-1</sup>) baru disusul K (43,4% pada penambahan biochar kayu 8:5:4 dan dosis 10 ton.ha<sup>-1</sup>) dan N (26,1% pada penambahan biochar kayu 8:5:4 dan dosis 0,5 ton.ha<sup>-1</sup>). Apabila dihubungkan dengan status NPK dalam tanah menunjukkan bahwa efisiensi ini berhubungan dengan statusnya yaitu efisiensi tinggi terjadi pada statusnya di dalam tanah rendah.

Peningkatan efisiensi serapan hara NPK tanaman oleh pengkayaan biochar dengan NPK juga berpengaruh pada peningkatan efisiensi berat kering tanaman kedelai. Efisiensi peningkatan berat kering tanaman kedelai tertinggi pada biochar kayu dengan rata-rata 16% baru diikuti oleh jerami kedelai (15%) dan padi (13%). Akan tetapi apabila dilihat berdasarkan masing-masing dosis biochar maka paling tinggi pada perlakuan dosis biochar kayu sebanyak 10 ton.ha<sup>-1</sup>. Peningkatan efisiensi berat kering tanaman kedelai ini sangat erat hubungannya dengan serapan unsur hara NPK khususnya K dan N yang besarnya 0,96\*\* dan 0,94\*\*, serta P yang besarnya 0,74\*\*.

Berdasarkan data-data tersebut diatas, khususnya pada nilai efektivitasnya yang ditunjukkan pada serapan dan efisiensi NPK maupun efisiensi peningkatan berat kering oleh perlakuan biochar yang diperkaya terhadap yang tidak diperkaya, maka ditetapkan rekomendasi pemupukan biochar yang diperkaya NPK (8:5:4) berdasarkan 5 tepat pemupukan pada tanah ultisol adalah sebagai berikut:

Jenis Biocar+ NPK	Dosis ton.ha <sup>-1</sup>	Waktu	Tempat	Cara
Biochar Jerami Padi + NPK (8:5:4)	5	Setiap musim penanaman 2 kali; 1 minggu sebelum penanaman	Topsoil	Campur homogen
Biochar Jerami Kedelai + NPK (8:5:4)	10	Setiap musim penanaman; 1 minggu sebelum penanaman	Topsoil	Campur homogen
Biochar Kayu + NPK (8:5:4)	10	Setiap musim penanaman; 1 minggu sebelum penanaman	Topsoil	Campur homogen

## BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 KESIMPULAN

- 1) Penambahan biochar baik yang berasal dari jerami padi, jerami kedelai, dan kayu yang diperkaya NPK (8:5:4) dapat memperbaiki sifat-sifat tanah masam seperti pH, C-organik, C/N, KTK, dan ketersediaan unsur hara NPK; sedangkan penambahan biochar saja (atau tanpa ditambah atau diperkaya NPK) hanya meningkatkan pH, C-organik, dan KTK tanah.
- 2) Perbaikan sifat-sifat kimia tanah tersebut dan peningkatan ketersediaan ketersediaan NPK dapat meningkatkan serapan NPK tanaman yang ditunjukkan berdasar nilai korelasi antara N-total tanah dengan serapan N tanaman  $R^2 = 0,32$  atau  $r = 0,57^{**}$ ; dan untuk korelasi antara P-tersedia tanah dengan serapan P tanaman  $r = 0,80^{**}$ , serta korelasi antara K dd tanah dengan serapan K tanaman  $r = 0,60^{**}$ .
- 3) Peningkatan serapan NPK tanaman kedelai oleh penambahan biochar juga diikuti dengan peningkatan berat kering tanaman khususnya untuk biochar dari kayu dan jerami padi dan diperkaya NPK yaitu berturut turut adalah 5,66 dan 5,11 g.tanaman<sup>-1</sup> untuk biochar 10 ton.ha<sup>-1</sup> + NPK (8:5:4); akan tetapi berkorelasi negatif dengan berat dan jumlah bintil akar. Hubungan negatif antara serapan hara khususnya N dan berat kering tanaman ini disebabkan oleh ketersediaan N dalam tanah (N-Total) sedang hingga tinggi, sehingga berdampak pada penurunan aktifitas bintil akar yang ditunjukkan pada korelasi N-total dengan jumlah bintil -0,27; dan dengan berat basahnya -0,30.
- 4) Terjadi peningkatan efisiensi serapan hara NPK dan berat kering tanaman kedelai oleh pengkayaan biochar dengan NPK. Efisiensi serapan N tertinggi pada biochar dari kayu (21%), diikuti oleh jerami kedelai dan padi; untuk serapan P dan K tertinggi pada jerami padi (35 dan 26%) dan diikuti oleh kayu dan kedelai; untuk berat kering tanaman kedelai tertinggi pada kayu (16%) baru diikuti oleh jerami kedelai dan padi. Peningkatan efisiensi berat kering tanaman kedelai ini sangat erat hubungannya dengan serapan unsur hara NPK khususnya K dan N yang besarnya 0,96<sup>\*\*</sup> dan 0,94<sup>\*\*</sup>, serta P yang besarnya 0,74<sup>\*\*</sup>.

### 5.2 SARAN

Melihat status ketersediaan NPK setelah diperlakukan biochar yang diperkaya NPK (8:5:4) dan ditanami kedelai hingga pertumbuhan vegetatif status ketersediaan hara NPK yang masih bervariasi antara rendah hingga sedang, maka penambahan konsentrasi NPK perlu ditingkatkan atau tingkat pengkayaannya yang ditingkatkan atau pemberiannya dilakukan terprogram secara periodik. Penggunaan limbah organik (pertanian) menjadi biochar sangat

menjanjikan untuk usatani kerkelanjutan sekaligus sebagai sequitrasi C dalam tanah, sehingga perlu dikembangkan terus menerus dengan meninintegrasikan berbagai bidang untuk mencapai manfaat maksimal.

Berdasarkan pada efektivitas pemberian biochar diperkaya tersebut yang ditunjukkan pada serapan dan efesiensi NPK maupun efesiensi peningkatan berat kering oleh perlakuan biochar yang diperkaya terhadap yang tidak diperkaya, maka ditetapkan rekomendasi pemupukan biochar yang diperkaya NPK (8:5:4) berdasarkan 5 tepat pemupukan pada tanah ultisol adalah sebagai berikut:

<b>Jenis Biocar+ NPK</b>	<b>Dosis ton.ha<sup>-1</sup></b>	<b>Waktu</b>	<b>Tempat</b>	<b>Cara</b>
Biochar Jerami Padi + NPK (8:5:4)	5	Setiap musim penanaman 2 kali; 1 minggu sebelum penanaman	Topsoil	Campur homogen
Biochar Jerami Kedelai + NPK (8:5:4)	10	Setiap musim penanaman; 1 minggu sebelum penanaman	Topsoil	Campur homogen
Biochar Kayu + NPK (8:5:4)	10	Setiap musim penanaman; 1 minggu sebelum penanaman	Topsoil	Campur homogen

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2017. Statistik Indonesia 2016. Badan Pusat Statistik Republik Indonesia. Jl. Dr. Sutomo 6-8 Jakarta 10710 Indonesia.
- Barus, J. 2016. Soil Chemical Properties and Soybean Yield Due to Application of Biochar and Compost of Plant Waste. *J Trop Soils*. 21(1): 1-7.
- Hugh McLaughlin, P.E, P.S. Anderson, F.E. Shields and T.B. Reed. 2009. All Biochars are Not Created Equal, and How to Tell Them Apart. North American Biochar Conference, Boulder, CO – August 2009. 1-38.
- Las, I. dan D. Setyorini. 2010. Kondisi Lahan, Teknologi, Arah, dan Pengembangan Pupuk Majemuk NPK dan Pupuk Organik. *Dalam: Prosiding Semnas Peranan Pupuk NPK dan Organik dalam Meningkatkan Produksi dan Swasembada Beras Berkelanjutan*. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor 24 Februari 2010. 47.
- Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar: Environmental Management. Earthscan, UK and USA. ISBN: 978-1-84407-658-1.
- Levine, J. 2010. U.S. Focused Biochar Report: Assessment of Biochar's Benefits for the United States of America. Centennial Printing. Colorado, USA. 1-84.
- Li, X., J. Zhao, T.C. Walk, and H. Liao. 2014. Characterization of soybean  $\beta$ -expansin genes and their expression responses to symbiosis, nutrient deficiency, and hormone treatment. *Appl Microbiol Biotechnol*. 98:2805–2817.
- McLaughlin, H., F. Shields, J. Jagiello, and G. Tiele. 2012. Analytical Options for Biochar Adsorption and Surface Area. US Biochar Conference. 1-19.
- Milla, O.V., E.B. Rivera1, W.J. Huang, C.C. Chien, Y.M. Wang. 2013. Agronomic properties and characterization of rice husk and wood biochars and their effect on the growth of water spinach in a field test. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 13(2): 251-266.
- Ralebitso, T.K. and C.H. Orr. 2016. Biochar Application. 1st Edition. Elsevier. 344.
- Schahczenski, J. 2010. Biochar and Sustainable Agriculture. National Sustainable Agriculture Information Service. ATTRA. 1-12.
- Sohi, S., E. Lopez-Capel, E. Krull and R. Bol. 2009. Biochar, climate change and soil: A review to guide future research. CSIRO Land and Water Science Report series ISSN: 1834-6618. 1-56.
- Subowo, G. 2010. Strategi efisiensi penggunaan bahan organik untuk kesuburan dan produktivitas tanah melalui pemberdayaan sumberdaya hayati tanah. *Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 4 No. 1*. 13-25.
- Xie, T., K.R. Reddy, C. Wang, E. Yargicoglu, and K. Spokas. 2015. Characteristics and applications of biochar for environmental remediation: A review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 45(9): 939-969.
- Zhou, Y., B. Gao, A.R. Zimmerman, J. Fang, Y. Sun, and X. Cao. 2013. Sorption of heavy metals on chitosan-modified biochars and its biological effects. *Chemical Engineering Journal* 231: 512-518.
- Verheijen, F., S. Jeffery, A.C. Bastos, M. van der Velde, and I. Diafas. 2010. Biochar Application to Soils: A Critical Scientific Review of Effects on Soil Properties, Processes and Functions. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. Italy. 164p.
- Windeatt, J.H., A.B. Ross, P.T. Williams, P.M. Forster, M.A. Nahil, S. Singh. 2014. Characteristics of biochars from crop residues: potential for carbon sequestration and soil amendment. *J Environ Manage*. 146:189-197.
- Pusat Penelitian Tanah. 1983. Kriteria Penilaian Data Sifat Analisis Kimia Tanah. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Bogor.