

**PENGARUH PENAMBAHAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
TERHADAP KETERSEDIAAN UNSUR HARA PADA ULTISOL**

Oleh:
PUTRI WINDA ASIH



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2018**

**PENGARUH PENAMBAHAN TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT
TERHADAP KETERSEDIAAN UNSUR HARA PADA ULTISOL**

Oleh:

PUTRI WINDA ASIH

155040209111001

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar
Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2018**

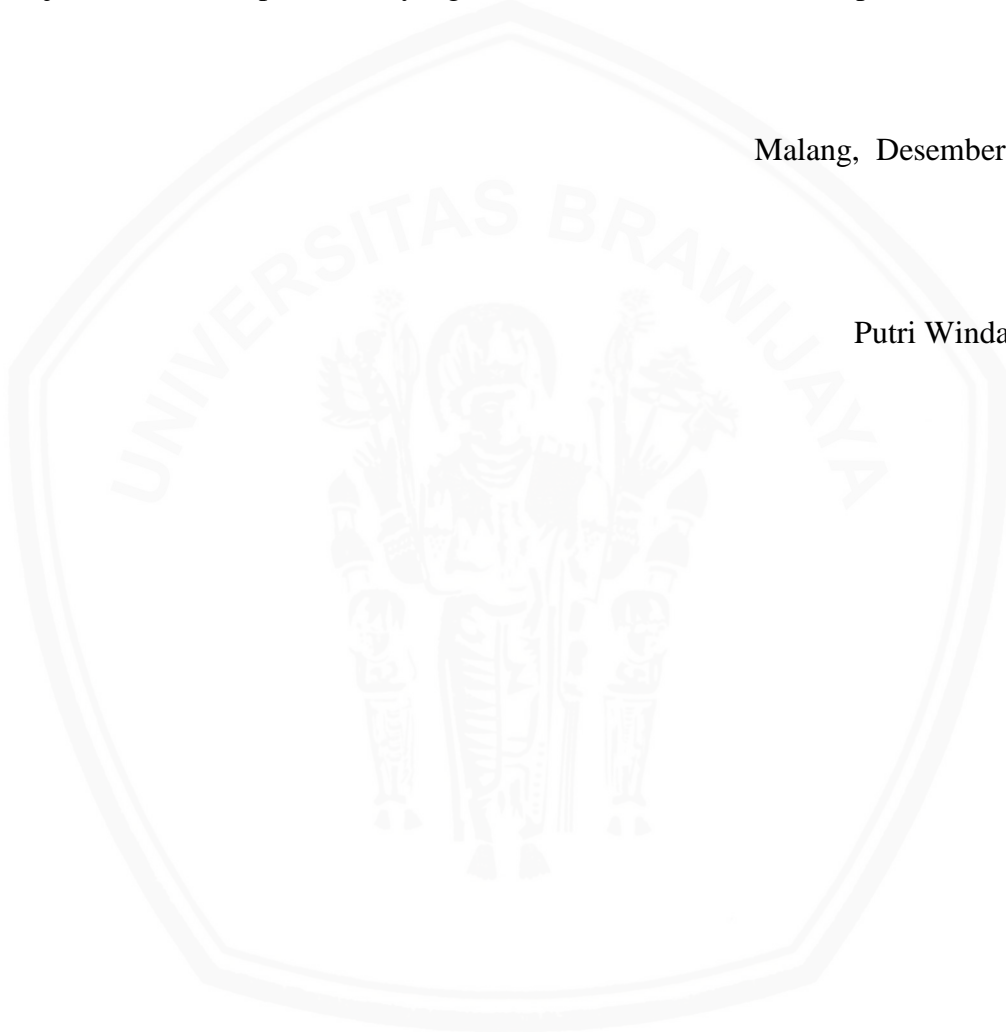


PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil dari penelitian saya sendiri, yang dibimbing oleh dosen pembimbing skripsi. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah di tulis atau di terbitkan orang lain, kecuali yang jelas ditunjukkan rujukan dalam skripsi ini dan yang telah disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Desember 2018

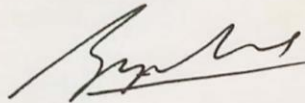
Putri Winda Asih



LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : Pengaruh Penambahan Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Ketersediaan Unsur Hara Pada Ultisol
Nama Mahasiswa : Putri Winda Asih
NIM : 155040209111001
Jurusan : Tanah
Program Studi : Agroekoteknologi

Disetujui
Pembimbing Utama,



Syahrul Kurniawan, S.P., M.P., Ph.D.
NIP. 19791018 200501 1 002

Diketahui,
Ketua Jurusan



Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 19540501 198103 1 006

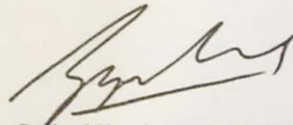
Tanggal Persetujuan : 27 DEC 2018



LEMBAR PENGESAHAN

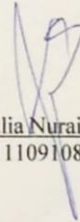
Mengesahkan
MAJELIS PENGUJI

Penguji I,



Syahrul Kurniawan, S.P., M.P., Ph.D.
NIP. 197910182005011002

Penguji II,



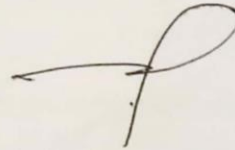
Dr. Ir Yulia Nuraini MS.
NIP. 1969111091085032001

Penguji III,



Novalia Kusumarini SP., MP.
NIP. 198911082015042001

Penguji IV



Aditya Nugraha Putra SP., MP.
NIK. 201609891227001

Tanggal Lulus : 03 JAN 2019





Skripsi ini kupersembahkan untuk

*Kedua orang tua tercinta,
Udin Wasudin dan Sri Asih
Adikku tersayang,
Fijar Tuwuh Rizki
Serta segenap keluarga*

RINGKASAN

PUTRI WINDA ASIH. 155040209111001. Pengaruh Penambahan Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Ketersediaan Unsur Hara pada Ultisol. Dibawah bimbingan Syahrul Kurniawan sebagai Pembimbing Utama.

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan komoditas perkebunan yang banyak dibudidayakan di Indonesia. Besarnya produksi perkebunan kelapa sawit akan meningkatkan limbah yang dihasilkan dari pengolahan pabrik kelapa sawit. Salah satu upaya pengelolaan limbah kelapa sawit berupa tandan kosong (tankos) yakni dengan memanfaatkannya sebagai pupuk organik. Sehingga penambahan bahan organik tandan kosong dapat membantu memperbaiki sifat kimia tanah pada tanah yang kurang subur atau marginal salah satunya Ultisol. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap ketersediaan unsur hara pada Ultisol.

Penelitian dilaksanakan pada bulan Desember 2017 hingga Maret 2018 di Laboratorium Kimia dan Biologi Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang. Contoh tanah di ambil di Kabupaten Batanghari dan Kabupaten Sarolangun Provinsi Jambi. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah bahan organik yang berasal dari limbah padat kelapa sawit berupa tandan kosong dan serabut. Penelitian ini menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan 6 perlakuan dan 3 ulangan. Perlakuan yang diuji terdiri atas T1B1 (tanah bertekstur lempung berliat + tandan kosong kelapa sawit); T1B2 (tanah bertekstur lempung berliat + serabut kelapa sawit); T1B3 (tanah bertekstur lempung berliat + tandan kosong +serabut kelapa sawit); T2B1 (tanah bertekstur lempung berpasir + tandan kosong kelapa sawit); T2B2 (tanah bertekstur lempung berpasir + serabut kelapa sawit); dan T2B3 (tanah bertekstur lempung berpasir + tandan kosong + serabut kelapa sawit). Analisis data menggunakan ANOVA dengan uji F, uji lanjut BNT (beda nyata terkecil) bila berpengaruh nyata, serta uji korelasi antar parameter pengamatan pada taraf 5%. Parameter yang diamati adalah sifat kimia tanah seperti pH, C-organik, N-total, P, K, KTK, Ca, Mg, dan Na.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemberian limbah padat kelapa sawit pada tanah bertekstur lempung berliat dan lempung berpasir berpengaruh nyata terhadap C-organik, N-total, K-dd, dan KTK tanah sehingga mampu meningkatkan ketersediaan hara pada Ultisol. Aplikasi limbah tandan kosong dan serabut kelapa sawit pada tanah lempung berliat (T1B3) meningkatkan C-organik, K-dd, dan KTK tanah secara signifikan pada pengamatan 12 MSI. Nilai C-organik berubah dari 0,545 % menjadi 2,802 %. Sedangkan nilai K-dd tanah yang pada mulanya 0,087 me/100g menjadi 0,219 me/100g. Nilai KTK tanah berubah dari 25,930 me/100g menjadi 30,366 me/100g.



SUMMARY

PUTRI WINDA ASIH. 155040209111001. The Addition Effect of Palm Oil Empty Fruit Bunches to Nutrients Availability in Ultisol. Under the guidance of Syahrul Kurniawan as the main supervisor.

The palm oil (*Elaeis guineensis Jacq.*) is a plantation commodity that widely cultivated in Indonesia. The increases amount of palm oil plantation production will increase the waste generated from the processing of palm oil mill effluent. One palm oil waste management effort such as empty fruit bunches (EFB) is by using it as an organic fertilizer. So that addition of EFB can help to improve soil chemical properties of the soil less fertile or marginal such as Ultisol. The purpose of this study was to determine the effect of adding palm oil empty fruit bunches on the nutrient availability in Ultisol.

The research was conducted on December 2017 until March 2018 in Chemical Laboratory and Biological Soil Laboratory, Agriculture Faculty, Brawijaya University Malang. Soil samples were taken in Batanghari and Sarolangun, Jambi Province. Material used in this stud is an organic material derived from by product (waste) palm oil in the shape of solid is empty fruit bunches (EFB) and palm oil fibers. This research used a Completely Randomized Design (CRD) with 6 treatments and 3 replications. The treatments includes, T1B1 (clay loam soil + palm oil empty fruit bunches); T1B2 (clay loam soil + palm oil fibers); T1B3 (clay loam soil + palm oil empty fruit bunches + palm oil empty fruit bunches and palm oil fibers); T2B1 (sandy loam soil + palm oil empty fruit bunches); T2B2 (sandy loam soil + palm oil fibers); T2B3 (sandy loam soil + palm oil empty fruit bunches + palm oil empty fruit bunches and palm oil fibers) The data analysis used ANOVA, LSD test (Least Significant Difference) if it is significant, and correlation test among observation parameters at the level 5%. The parameters observed were some soil chemical properties such as pH, C-organic, N, available P and K, Cation Exchangable Capacity (CEC), Ca, Mg, and Na.

The results showed that application of palm oil solid waste on clay loam soil and sandy loam soil had a significantly affected to organic C, available K, N, and CEC so as to increase nutrient availability in Ultisol. The application of empty bunches and palm oil fibers in clay loam soil (T1B3) increased organic C, available K, and soil CEC significantly in 12 MSI observations. The value of C-organic changes from 0,545% to 2,802%. While the K-available value of soil which was initially 0,087 me/100g became 0,219 me/100g. The land CEC value changes from 25,930 me/100g to 30,366 me/100g.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang dengan rahmat dan hidayah-Nya telah menuntun penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Penambahan Tandan Kosong Kelapa Sawit Terhadap Ketersediaan Unsur Hara pada Ultisol”. Skripsi ini disusun untuk melengkapi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan studi program pendidikan Strata-1 (S1) bagi mahasiswa Fakultas Pertanian Program Studi Agroekoteknologi, Jurusan Tanah. Setiap kesulitan dan hambatan dalam penulisan skripsi ini dapat diatasi berkat kemauan, kerja keras dan doa, serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak.

Dengan segala rasa syukur dan hormat, penulis mengucapkan terima kasih antara lain kepada:

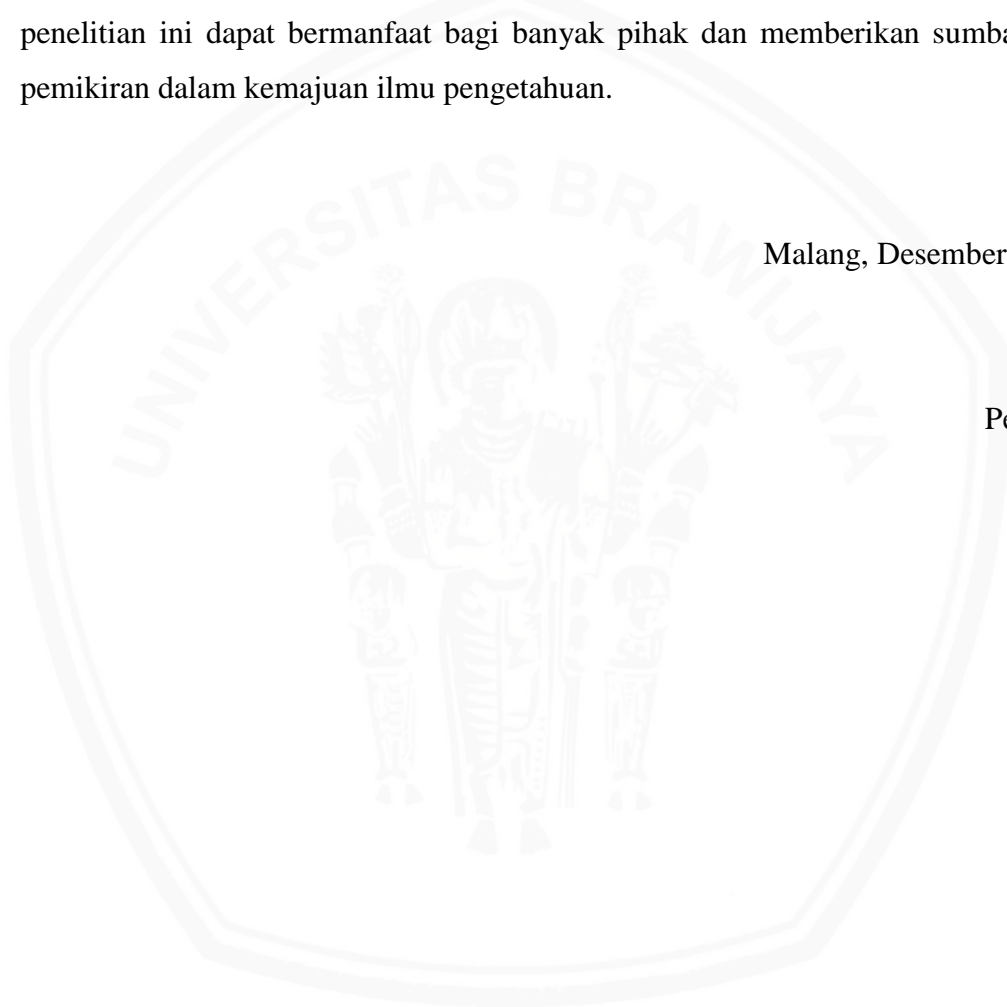
1. Allah SWT, yang telah memberikan berkah dan rahmat-Nya dalam menuntun penyusunan skripsi;
2. Kedua orang tua (Bapak Udin Wasudin dan Ibu Sri Asih) yang senantiasa memberikan dukungan moril dan materil, serta adikku tersayang (Fijar Tuwuh Rizki) yang selalu memberikan semangat dan dukungan tanpa henti;
3. Syahrul Kurniawan, SP., MP., Ph.D, selaku dosen pembimbing atas segala kesabaran, nasihat, arahan, dan bimbingannya kepada penulis;
4. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU, selaku Ketua Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya;
5. Segenap dosen dan karyawan serta keluarga Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya;
6. Gabryna Aulia Nugroho, SP., MP., MSc., yang telah memberikan segenap nasehat, bantuan, dukungan, semangat, dan inspirasi dalam penyusunan skripsi;
7. Sahabat seperjuangan (SAP 2015) yang selalu memberikan dukungan, bantuan, nasehat, dan motivasi hingga penulis menyelesaikan skripsi;
8. Teman menulis dan bimbingan, Futihatu Rizkiani Azizah yang senantiasa menemani dan menyemangati dalam menyelesaikan skripsi;

9. Keluarga MSDL 2014 yang telah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis;
10. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan semangat secara langsung maupun tidak langsung selama kegiatan penelitian sampai penulisan skripsi.

Penulis menyadari bahwa hasil penelitian belum sempurna dan perlu dikembangkan lagi. Oleh karena itu, kritik dan saran dari pembaca diharapkan dapat memperbaiki penulisan selanjutnya. Penulis berharap semoga hasil dari penelitian ini dapat bermanfaat bagi banyak pihak dan memberikan sumbangan pemikiran dalam kemajuan ilmu pengetahuan.

Malang, Desember 2018

Penulis



RIWAYAT HIDUP

Penulis lahir di Cirebon pada tanggal 27 Januari 1994, anak pertama dari dua bersaudara dari pasangan bapak Udin Wasudin dan ibu Sri Asih.

Penulis memulai pendidikan dasar di SDN Sidamulya Cirebon pada tahun 1999 sampai tahun 2005, kemudian melanjutkan ke SMP Negeri 4 Cirebon pada tahun 2005 dan selesai pada tahun 2008. Pada tahun 2008 sampai tahun 2011 penulis melanjutkan studi di SMA Negeri 7 Cirebon. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Program Diploma Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto dengan jurusan Perencanaan Sumberdaya Lahan pada tahun 2011 – 2014. Pada tahun 2014 penulis melaksanakan kegiatan magang kerja di Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kabupaten Tasikmalaya. Pada tahun 2015 penulis melanjutkan studi Strata 1 Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang, Jawa Timur melalui jalur Seleksi Alih Program (SAP).

DAFTAR ISI

RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
DAFTAR TABEL	x
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Hipotesis.....	2
1.5 Manfaat	3
1.6 Kerangka Pikir	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS).....	5
2.2 Dekomposisi.....	5
2.3 Faktor yang berpengaruh pada proses dekomposisi.....	6
2.4 Pengaruh Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Bahan organik terhadap Sifat Kimia Tanah.....	8
2.5 Pengaruh Bahan Organik terhadap Sifat Fisik Tanah.....	12
2.6 Ultisol.....	13
III. METODE PENELITIAN.....	15
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Rancangan Penelitian	15
3.4 Pelaksanaan Penelitian	16
3.5 Analisis Data	18
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	19
4.1 Pengaruh Penambahan Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Sifat Kimia Tanah.....	19
4.2 Pembahasan Umum.....	33
V. KESIMPULAN DAN SARAN	37
5.1 Kesimpulan	37
5.2 Saran.....	37

DAFTAR PUSTAKA 38
LAMPIRAN 42



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Kerangka Pikir Penelitian	4
2.	Pengaruh perlakuan penambahan tandan kosong kelapa sawit terhadap pH tanah pada waktu pengamatan 4 MSI (a), 6 MSI (b), 8 MSI (c), 10 MSI (d), dan 12 MSI (e).....	20
3.	Pengaruh perlakuan penambahan tandan kosong kelapa sawit terhadap C-organik tanah pada waktu pengamatan 4 MSI (a), 6 MSI (b), 8 MSI (c), 10 MSI (d), dan 12 MSI (e)	22
4.	Pengaruh perlakuan penambahan tandan kosong kelapa sawit terhadap N-Total tanah pada waktu pengamatan 4 MSI (a), 6 MSI (b), 8 MSI (c), 10 MSI (d), dan 12 MSI (e).....	24
5.	Pengaruh perlakuan penambahan tandan kosong kelapa sawit terhadap K-dd tanah pada waktu pengamatan 4 MSI (a), 6 MSI (b), 8 MSI (c), 10 MSI (d), dan 12 MSI (e).....	28
6.	Pengaruh perlakuan penambahan tandan kosong kelapa sawit terhadap KTK tanah pada waktu pengamatan 4 MSI (a), 6 MSI (b), 8 MSI (c), 10 MSI (d), dan 12 MSI (e).....	32
7.	Hasil uji regresi C-organik dengan Kapasitas Tukar Kation (KTK).....	34



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Perhitungan Kebutuhan Air Kapasitas Lapang dan Jumlah Air yang di tambahkan.....	42
2.	Perhitungan Berat Tanah yang Dibutuhkan	44
3.	Perhitungan Berat Bahan Organik	44
4.	Dokumentasi Penelitian	46
5.	Hasil Analisis Dasar Ultisol	49
6.	Analisis Dasar Tandan Kosong Kelapa Sawit	49
7.	Analisis Ragam Pengaruh Perlakuan terhadap Variabel.....	50
8.	Rerata Nilai C-Organik, K-dd, dan KTK per Perlakuan.....	59
9.	Matriks Korelasi Antara Variabel	62
10.	Kriteria Tanah	63
11.	Instruksi Kerja Analisa Kimia Tanah.....	64

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Perlakuan Percobaan.....	16
2.	Variabel Pengamatan	18
3.	Rerata kadar P-tersedia tanah.....	25
4.	Rerata Kation-kation Basa Ca-dd, Mg-dd, dan Na-dd.....	30



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) merupakan tanaman primadona sekaligus andalan komoditas perkebunan di Jambi. Pada tahun 2016, luas areal perkebunan kelapa sawit di Jambi mencapai 736.095 ha dengan produksi sebesar 1.910.028 ton CPO (*Crude Palm Oil*) (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2016). Pada umumnya setiap perkebunan kelapa sawit terutama perkebunan besar dilengkapi dengan pabrik kelapa sawit (PKS) untuk mengolah tandan buah segar (TBS) menjadi CPO. Setiap PKS dengan kapasitas 60 ton/jam dapat mengolah TBS hingga 1000 ton/ha (Eliarti, 2013). Pengolahan TBS menghasilkan limbah antara lain 23 % tandan kosong; 6,5 % cangkang dan 13 % serat (Departemen Pertanian, 2006).

Limbah kelapa sawit berupa tandan kosong memiliki komposisi kimia berupa lignin 13,50%, polifenol 2,56% dan selulosa 36,68%. Selama ini pemanfaatan limbah tandan kosong kelapa sawit sangat terbatas yaitu ditimbun (*open dumping*) dan dibakar dalam *incinerator* (Firmansyah, 2010). Abu dari pembakaran dimanfaatkan untuk pembuatan pupuk kalium karena mengandung 30% K_2O . Proses pembakaran tandan kosong kelapa sawit dalam *incinerator* tersebut dapat menimbulkan polusi udara karena menghasilkan abu terbang (*fly ash*).

Cara untuk mengurangi pencemaran lingkungan tersebut, maka penanganan limbah pabrik kelapa sawit perlu dilakukan. Salah satu cara adalah dengan memanfaatkan limbah padat kelapa sawit sebagai pupuk organik. Tandan kosong berpotensi sebagai pupuk organik karena mempunyai kandungan hara yang cukup tinggi, yakni memiliki kandungan unsur nitrogen 1,5%, Fosfat 0,5%, kalium 7,3% dan magnesium 0,9% (Manambangtua & Barri, 2016). Tandan kosong dapat digunakan sebagai pupuk organik bagi pertanaman kelapa sawit secara langsung maupun tidak langsung. Pemanfaatan secara langsung yaitu dengan menyebarkan tandan kosong secara langsung pada daerah piringan, sedangkan secara tidak langsung harus melalui proses pengomposan terlebih dahulu.

Ultisol digunakan untuk melihat pengaruh limbah tandan kosong kelapa sawit terhadap ketersediaan unsur hara dan sifat kimia tanah. Ultisol merupakan salah satu tanah mineral dengan penyebaran cukup luas di Indonesia yakni mencapai 45.794.000 ha atau sekitar 25% dari total luas daratan Indonesia (Prasetyo & Suriadikarta, 2006). Permasalahan yang dihadapi pada lahan Ultisol adalah pH sangat masam dengan pH rata-rata $< 4,50$; kandungan bahan organik rendah; kandungan basa-basa dan P rendah; kapasitas tukar kation (KTK) rendah serta kejenuhan Al tinggi (Prasetyo & Suriadikarta, 2006). Salah satu upaya untuk memperbaiki tingkat kesuburan Ultisol adalah melalui pemberian bahan amelioran, maka perlu dipertimbangkan ketersediaan dan kemudahan pengangkutannya. Berdasarkan jumlah ketersediaannya, tandan kosong kelapa sawit dapat digunakan sebagai bahan amelioran untuk memperbaiki kesuburan tanah Ultisol, terutama di daerah yang mempunyai perkebunan kelapa sawit yang cukup luas.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana pengaruh penambahan tandan kosong kelapa sawit terhadap ketersediaan unsur hara (N, P, K, Ca, Mg, dan Na) dan sifat kimia tanah (pH, C-organik, dan KTK)?

1.3 Tujuan

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan tandan kosong kelapa sawit (TKKS) terhadap ketersediaan unsur hara (N, P, K, Ca, Mg, dan Na) dan sifat kimia tanah (pH, C-organik, dan KTK) Ultisol.

1.4 Hipotesis

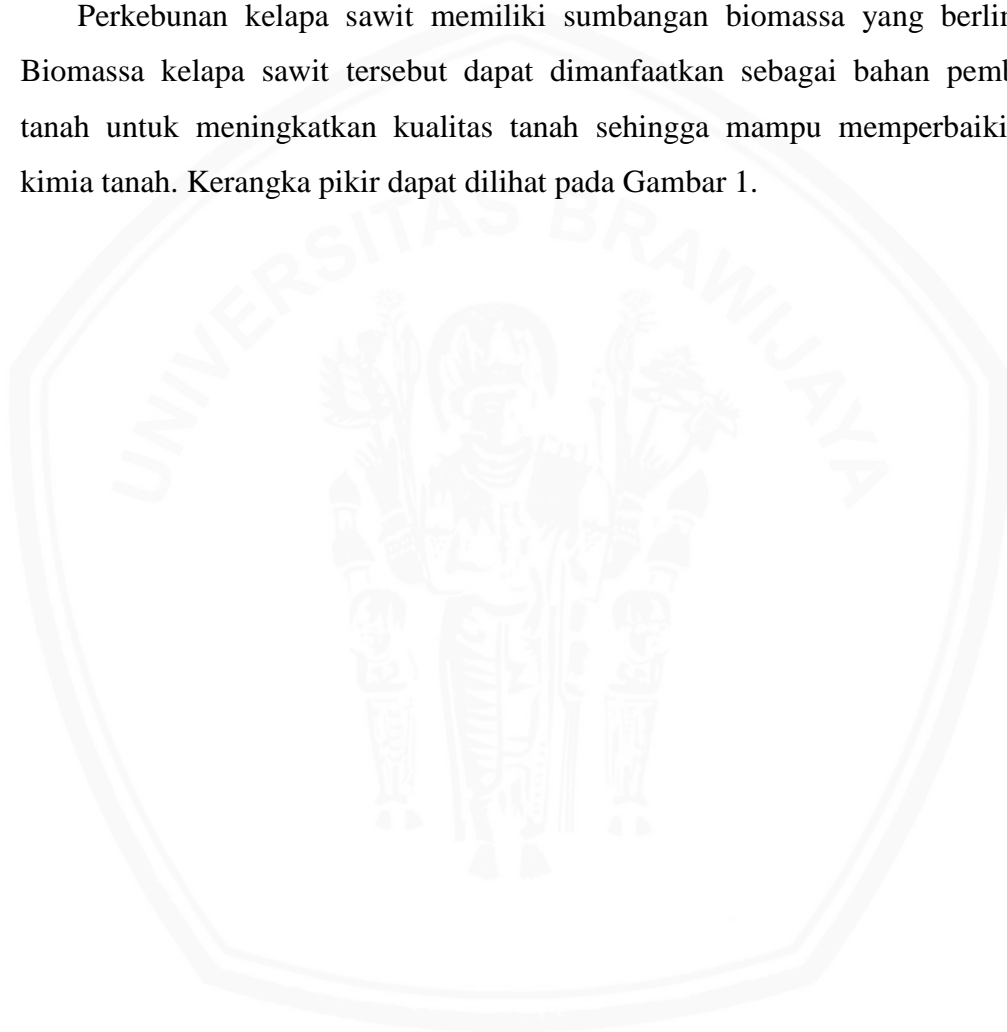
Aplikasi tandan kosong kelapa sawit (TKKS) pada Ultisol dapat meningkatkan ketersediaan hara dan sifat kimia tanah Ultisol.

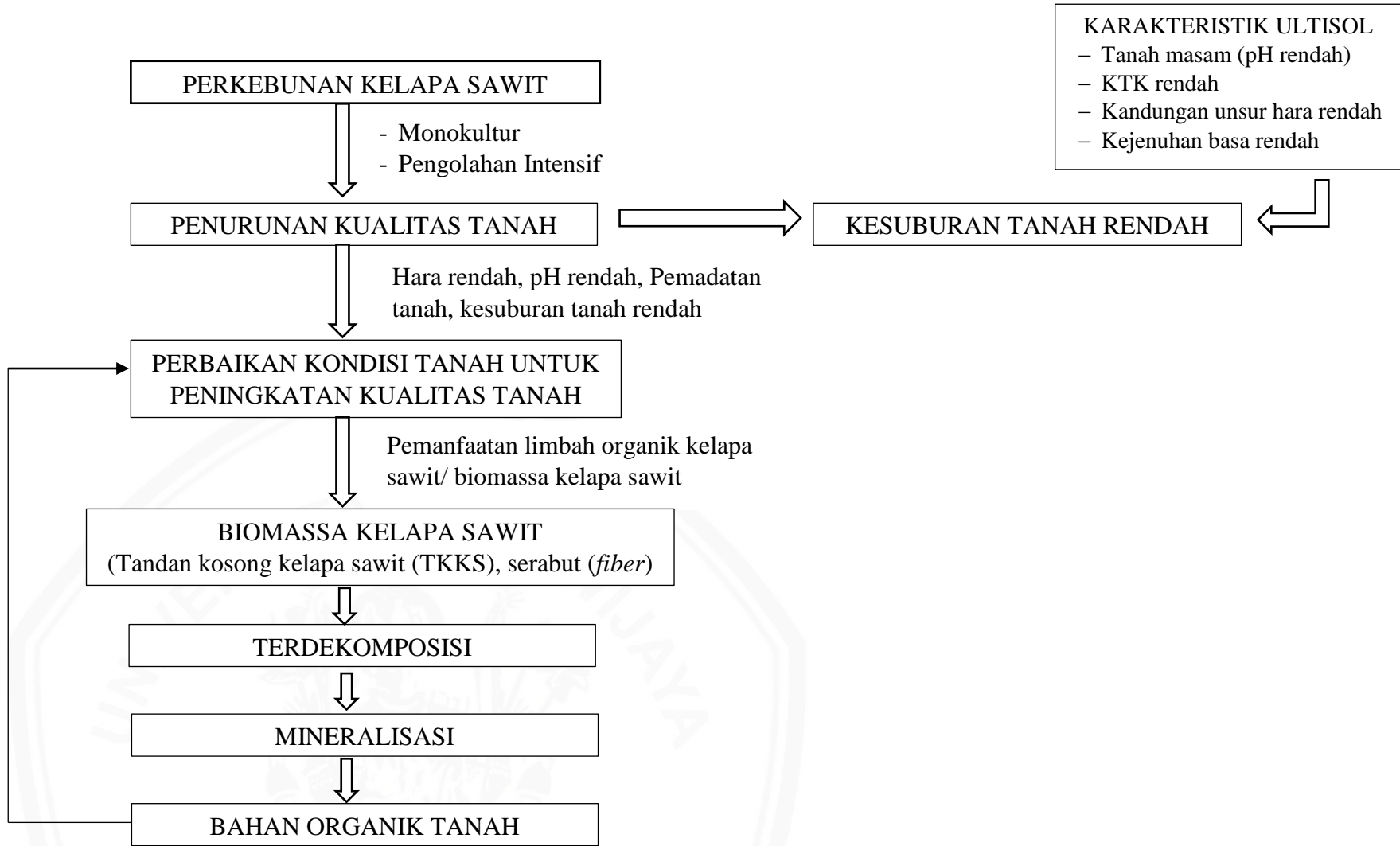
1.5 Manfaat

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat berupa informasi mengenai ketersediaan unsur hara yang diperoleh akibat adanya penambahan biomassa kelapa sawit yang penting untuk perbaikan kesuburan Ultisol.

1.6 Kerangka Pikir

Perkebunan kelapa sawit memiliki sumbangan biomassa yang berlimpah. Biomassa kelapa sawit tersebut dapat dimanfaatkan sebagai bahan pembenah tanah untuk meningkatkan kualitas tanah sehingga mampu memperbaiki sifat kimia tanah. Kerangka pikir dapat dilihat pada Gambar 1.





Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)

Pengolahan kelapa sawit menjadi minyak sawit (*Calm Palm Oil*) menghasilkan beberapa jenis limbah padat yang meliputi tandan kosong kelapa sawit (TKKS), cangkang, dan serat mesocarp (Yunindanova, 2009). TKKS merupakan limbah utama dari industri pengolahan kelapa sawit yang terbuang dari proses pemisahan tandan rebus dari buahnya (Mangoensoekardjo dan Semangun, 2005). Ketersediaan TKKS cukup banyak sepanjang tahun, yaitu sekitar 20-27% dari tandan buah segar (TBS) yang diolah. Pabrik kelapa sawit di Indonesia diperkirakan mengolah 10 juta ton TBS per tahun dan dari jumlah tersebut ada sekitar 2,7 juta ton TKKS sebagai limbah padat industri kelapa sawit (Endriani dan Yunus, 2001).

Tandan kosong kelapa sawit merupakan bahan organik yang potensial untuk pupuk karena tersedia dalam jumlah banyak dan dapat memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Ningtyas dan Lia (2010) menyatakan bahwa kompos TKKS mengandung hara makro yaitu 42,8% C; 2,15% N-Total; 1,54% P₂O₅; 0,15% K₂O; dengan pH (H₂O) 6,32. Pemanfaatan TKKS sebagai pupuk dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Pemanfaatan secara langsung yakni dengan menggunakan TKKS yang disebar langsung pada daerah piringan, sedangkan secara tidak langsung harus melalui proses pengomposan terlebih dahulu (Manambangtua dan Barri, 2016). Bagaimanapun juga pengembalian bahan organik kelapa sawit ke tanah akan menjaga kelestarian kandungan bahan organik lahan kelapa sawit dan kandungan hara dalam tanah. Selain itu, pengembalian bahan organik ke tanah akan mempengaruhi populasi mikroba tanah secara langsung dan tidak langsung akan mempengaruhi kesehatan dan kualitas tanah (Widiastuti dan Panji, 2007).

2.2 Dekomposisi

Dekomposisi bahan organik merupakan perubahan fisik dan kimia bahan organik menjadi komponen sederhana oleh mikroba pada kondisi kelembaban dan aerasi baik. Pada proses dekomposisi dibebaskan CO₂, energi dan pembentukan

senyawa-senyawa antara. Pada akhir proses dekomposisi dijumpai senyawa antara NO_3^- dan SO_4^- (Yunindanova, 2009).

Dekomposisi tandan kosong kelapa sawit secara alami sangat lambat, memerlukan waktu yang cukup lama yaitu antara 6 - 12 bulan. Menurut Khalid (2000) kecepatan dekomposisi tandan kosong kelapa sawit di lapangan dipengaruhi oleh iklim makro, iklim mikro, kualitas bahan dan aktivitas organisme pada areal tersebut. Secara rata-rata residu tanaman kelapa sawit di lapangan terdekomposisi selama 12 - 18 bulan. Komponen bahan padat tandan kosong kelapa sawit terdiri dari selulosa yang sulit terdegradasi dan rasio C/N yang tinggi. Hal tersebut menyebabkan keseluruhan proses dekomposisi tandan kosong kelapa sawit memerlukan waktu yang lama, untuk mempercepat waktu dekomposisi dapat dibantu dengan penambahan mikroorganisme yang dapat mengurai bahan organik hingga menjadi kompos.

Faktor lain yang mempengaruhi proses dekomposisi yaitu masa inkubasi bahan organik. Masa inkubasi merupakan hal yang penting dalam proses mineralisasi bahan organik. Menurut Armada *et al* (2017) yang menyatakan bahwa kandungan unsur hara yang diberikan dari bahan organik pada tanah berkolerasi dengan lamanya proses mineralisasi yang dibutuhkan suatu bahan organik untuk menyediakan hara bagi tanahnya. Inkubasi bahan organik dilakukan untuk dapat memberikan kesempatan bagi mikroorganisme untuk dapat berkembang dan bermetabolisme untuk menguraikan kandungan bahan organik menjadi senyawa-senyawa anorganik, dan memberikan waktu untuk bahan organik dapat bereaksi dengan tanah.

2.3 Faktor yang berpengaruh pada proses dekomposisi

Dekomposisi bahan organik merupakan proses yang sangat penting dalam dinamika hara pada suatu ekosistem. Dekomposisi merupakan proses yang sangat kompleks yang melibatkan beberapa faktor (Briliyantono, 2012). Laju dekomposisi dipengaruhi oleh faktor internal dan eksternal, antara lain:

a. Faktor Internal

Biomassa kelapa sawit yang dikembalikan ke lahan berperan dalam memperbaiki sifat tanah (sifat kimia, fisik, dan biologi tanah), tetapi biomassa

tanaman tersebut terlebih dahulu harus mengalami dekomposisi yaitu terjadinya proses perubahan bahan organik dari senyawa yang kompleks menjadi sederhana. Faktor internal yang mempengaruhi laju dekomposisi bahan organik adalah kualitas bahan organik yang antara lain nisbah C/N, kandungan lignin dan polifenol. Bahan organik akan termineralisasi jika nisbah C/N dibawah nilai kritis 25 – 30, dan jika diatas nilai kritis akan terjadi imobilisasi N, untuk mineralisasi P nilai kritis C/P sebesar 200-300, dan untuk mineralisasi S nilai kritis sebesar 200-400 (Stevenson, 1982 *dalam* Atmojo, 2003).

Jika bahan organik mempunyai kandungan lignin tinggi (>15 %) kecepatan mineralisasi N akan terhambat. Lignin adalah senyawa polimer pada jaringan tanaman berkayu, yang mengisi rongga antar sel tanaman, sehingga menyebabkan jaringan tanaman menjadi keras dan sulit untuk dirombak oleh organisme tanah. Polifenol berpengaruh terhadap kecepatan dekomposisi bahan organik, semakin tinggi kandungan polifenol (>4%) dalam bahan organik, maka akan semakin lambat terdekomposisi dan termineralisasi.

Proses dekomposisi atau mineralisasi, di samping dipengaruhi oleh kualitas bahan organiknya, juga dipengaruhi oleh frekuensi penambahan bahan organik, ukuran partikel bahan, kekeringan, dan cara penggunaannya (dicampur atau disebar di permukaan) (Vanlauwe et al., 1997 *dalam* Atmojo, 2003). Pengeringan bahan mempunyai pengaruh terhadap konsentrasi polifenol larut. Pengeringan pada suhu 55 °C akan mengurangi konsentrasi polifenol larut (Mafongoya et al., 1997 *dalam* Atmojo, 2003). Pencampuran bahan yang berbeda kualitasnya akan berdampak pada peningkatan pelepasan hara. Hal ini sangat penting dalam kaitannya dengan sinkronisasi. Khusus di tanah masam, sinkronisasi dalam kaitannya dengan hara P, perlu dipertimbangkan kemampuan bahan organik untuk mengurangi laju fiksasi P (Meyer et al., 1997 *dalam* Atmojo, 2003). Masalah sinkronisasi ini lebih rumit lagi apabila dikaitkan dengan masalah kelasi Al, Fe, dan Mn. Disatu pihak diharapkan penyediaan hara khususnya P segera untuk dapat digunakan tanaman sesuai dengan pertumbuhan, di lain pihak diharapkan mampu mengkelasi Al dalam kurun waktu yang lama.

b. Faktor Eksternal

Faktor utama dalam proses pelapukan fisika dan kimia adalah air dan temperatur, disamping faktor-faktor yang lain. Iklim terutama temperatur dan curah hujan sangat mempengaruhi jumlah nitrogen dan bahan organik dalam tanah. Rata-rata kandungan bahan organik dan nitrogen meningkat sampai tiga kali setiap kali tempertaur rata-rata tahunan turun 10 °C. Disamping temperatur dan curah hujan, kelembaban tanah efektif mempengaruhi kecepatan dekomposisi dan mineralisasi bahan organik. Disamping iklim, faktor kemasaman tanah dapat mempengaruhi kecepatan dekomposisi dan mineralisasi bahan organik (Darmosarkoro dan Rahutomo, 2007).

2.4 Pengaruh Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Bahan organik terhadap Sifat Kimia Tanah

Sumber bahan yang digunakan sebagai pupuk organik sangat beragam dengan karakteristik sifat fisik dan kimia atau kandungan hara yang berbeda-beda sehingga kualitas pupuk organik yang dihasilkan juga berbeda-beda mutunya. Oleh karena itu pengaruhnya terhadap sifat kimia tanah juga tidak sama. Pengaruh bahan organik terhadap kesuburan kimia tanah antara lain terhadap kapasitas tukar kation (KTK), pH tanah, daya sangga tanah dan terhadap keharaan tanah (Atmojo, 2003).

Pemberian kompos tandan kosong kelapa sawit dapat meningkatkan sifat kimia tanah. Siregar, Fauzi, dan Supriadi (2017) menyatakan bahwa pemberian bahan organik berupa tandan kosong kelapa sawit sebanyak 10 g/pot (20 ton/ha) meningkatkan pH, P-tersedia, KTK dan menurunkan Al-dd tanah Ultisol. Winarna (2001) menyatakan bahwa aplikasi tandan kosong kelapa sawit dengan berbagai dosis tanpa maupun dengan tambahan pupuk organik secara nyata meningkatkan perubahan sifat kimia yaitu pH, C-organik, N-total, P-tersedia, Kapasitas Tukar Kation dan Kejenuhan Basa.

Pengaruh penambahan bahan organik terhadap pH tanah dapat meningkatkan atau menurunkan tergantung oleh tingkat kematangan bahan organik yang ditambahkan dan jenis tanahnya. Penambahan bahan organik yang belum masak (misal pupuk hijau) atau bahan organik yang masih mengalami proses dekomposisi, biasanya akan menyebabkan penurunan pH tanah, karena

selama proses dekomposisi akan melepaskan asam-asam organik yang menyebabkan menurunnya pH tanah. Namun apabila diberikan pada tanah masam dengan kandungan Al tertukar tinggi, akan menyebabkan peningkatan pH tanah, karena asam-asam organik hasil dekomposisi akan mengikat Al membentuk senyawa kompleks (khelat), sehingga Al tidak terhidrolisis lagi (Atmojo, 2003). Peningkatan pH tanah juga akan terjadi apabila bahan organik yang ditambahkan telah terdekomposisi lanjut (matang), karena bahan organik yang telah termineralisasi akan melepaskan mineralnya, berupa kation-kation basa (Suntoro, 2001).

Peran bahan organik terhadap ketersediaan hara dalam tanah tidak terlepas dari penyusun utama bahan organik yakni C-organik. Kandungan bahan organik dalam bentuk C-organik di tanah harus dipertahankan tidak kurang dari 2% agar kandungan bahan organik dalam tanah tidak menurun dengan waktu akibat proses dekomposisi mineralisasi. Maka sewaktu pengolahan tanah, penambahan bahan organik mutlak harus diberikan setiap tahun. Kandungan bahan organik antara lain sangat erat berkaitan dengan KTK (kapasitas tukar kation) serta dapat meningkatkan KTK tanah (Mustofa, 2007). Menurut Nuryani dan Handayani (2003) bahan organik yang diberikan ke dalam tanah setelah mengalami proses dekomposisi dapat meningkatkan kadar karbon dalam tanah juga asam-asam organik yang berasal dari pelapukan bahan organik.

Peran bahan organik terhadap ketersediaan hara dalam tanah tidak terlepas dengan proses mineralisasi yang merupakan tahap akhir dari proses perombakan bahan organik. Dalam proses mineralisasi akan dilepas mineral-mineral hara tanaman dengan lengkap (N, P, K, Ca, Mg dan S, serta hara mikro) dalam jumlah tidak tentu dan relatif kecil (Atmojo, 2003). Bahan organik sumber nitrogen (protein) pertama-tama akan mengalami peruraian menjadi asam-asam amino yang dikenal dengan proses *aminisasi*, yang selanjutnya oleh sejumlah besar mikrobia heterotrofik mengurai menjadi amonium yang dikenal sebagai proses *amonifikasi*. *Amonifikasi* ini dapat berlangsung hampir pada setiap keadaan, sehingga amonium dapat merupakan bentuk nitrogen anorganik (mineral) yang utama dalam tanah (Tisdal dan Nelson, 1974 dalam Atmojo, 2003). Nasib dari amonium ini antara lain dapat secara langsung diserap dan digunakan tanaman

untuk pertumbuhannya, atau oleh mikroorganisme untuk segera dioksidasi menjadi nitrat yang disebut dengan proses *nitrifikasi*. *Nitrifikasi* adalah proses bertahap yaitu proses nitritasi yang dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* dengan menghasilkan nitrit, yang segera diikuti oleh proses oksidasi berikutnya menjadi nitrat yang dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter* yang disebut dengan nitratasi. Nitrat merupakan hasil proses mineralisasi yang banyak disukai atau diserap oleh sebagian besar tanaman budidaya. Namun nitrat ini mudah tercuci melalui air drainase dan menguap ke atmosfer dalam bentuk gas (pada drainase buruk dan aerasi terbatas) (Killham, 1994 dalam Atmojo, 2003).

Peningkatan N-total disebabkan oleh adanya bahan organik yang memberikan sumbangan ke dalam tanah. Hal ini mengidentifikasi bahwa telah terjadi pelepasan hara dari proses dekomposisi bahan organik ke dalam tanah sebagai stimulan bertambahnya N dalam tanah. Selain itu penurunan jumlah nitrogen juga dipengaruhi oleh penurunan jumlah bahan organik dan mikroorganisme tanah di lokasi tersebut. Karena di dalam susunan jaringan bahan organik terkandung unsur nitrogen organik yang di dekomposisi oleh mikroorganisme tanah menjadi nitrogen tersedia bagi tanaman (Izzudin, 2012).

Fosfor merupakan unsur hara yang sangat esensial bagi proses kehidupan makhluk hidup di dalam tanah, khususnya bagi tanaman. Unsur P di dalam tanah dibedakan dalam P organik dan P anorganik. Bentuk P organik sebagian besar terdapat pada humus tanah dan bahan organik. Sedangkan bentuk P anorganik terdapat sebagai P larutan dan P fase padatan, yang dibedakan atas tiga kategori yaitu P dapat tersedia, P lambat tersedia, dan P tidak tersedia (Atmojo, 2003).

Ketersediaan P di dalam tanah sangat dipengaruhi oleh kemasaman tanah (pH) pada umumnya ketersediaan unsur P maksimum di jumpai pada tanah dengan kisaran pH antara 5,5 – 7,0. Ketersediaan P akan menurun bila pH lebih rendah dari 5,5 atau pH lebih tinggi dari 7,0 (Hakim, 1986). Bahan organik memperbesar ketersediaan fosfat tanah karena dekomposisi bahan organik menghasilkan asam-asam organik, asam organik dapat menghasilkan anion-anion organik yang dapat membentuk senyawa kompleks sukar larut dengan Al dan Fe. Sehingga konsentrasi ion Al dan Fe yang bebas dalam larutan tanah berkurang,

akibatnya dapat mengurangi pengikatan P organik (Nyakpa dkk., 1986 dalam Armada, 2017).

Sumber kalium yang terdapat dalam tanah berasal dari pelapukan mineral yang mengandung K. Mineral tersebut bila lapuk melepaskan K kelarutan tanah atau terjerapan tanah dalam bentuk tertukar. Kadar K-tertukar tanah tanah biasanya sekitar 0,5 – 0,6 % dari total K tanah. K-larutan tanah + K-tertukar merupakan K-dd tanah. Kalium tersedia dalam tanah tidak selalu tetap dalam keadaan tersedia, tetapi masih berubah menjadi bentuk yang lambat untuk diserap oleh tanaman (*slowly available*). Hal ini disebabkan oleh K tersedia yang mengadakan keseimbangan dengan K bentuk-bentuk lain (Rosmarkam dan Yuwono, 2002).

Magnesium selalu dihubungkan dengan kemasaman tanah, karena ionnya dapat mengurangi efek kemasaman tanah. Dalam hal ini magnesium berperan dapat menggantikan kedudukan ion hidrogen dari kompleks adsorpsi. Ketersediaan magnesium dapat terjadi oleh akibat proses pelapukan dari mineral-mineral yang mengandung magnesium. Mg terkandung dalam kerak bumi sekitar 1,93 % unsur ini diserap oleh tanah dalam bentuk kation Mg^{2+} . Selanjutnya, akibat proses pelapukan maka magnesium akan terdapat bebas didalam larutan tanah. Keadaan ini dapat menyebabkan (a) magnesium hilang bersama air perkolasi, (b) magnesium diserap oleh tanaman atau berbagai organisme hidup lainnya, (c) diabsorpsi oleh partikel liat dan (d) diendapkan menjadi mineral sekunder. Ketersediaan bagi tanaman akan berkurang pada tanah-tanah yang mempunyai pH tinggi (Rosmarkam & Yuwono, 2002).

Sumber Ca adalah mineral yang mengandung Ca dan kandungan terbesar dari batuan kapur (kalsit), dolomit, Ca-feldspar, amfibol. Ketersediaan Ca terkait dengan kapasitas tukar kation (KTK) dan persen kejenuhan basa-basa (KB). Kejenuhan basa yang rendah mencerminkan ketersediaan Ca yang rendah. Jika dibandingkan, keterikatan Mg pada situs pertukaran kation lebih lemah dibanding Ca, sehingga umumnya kadar Ca tanah selalu lebih tinggi dibanding Mg (Hanafiah, 2005). Unsur ini biasanya dihubungkan dengan masalah kemasaman tanah dan pengapuran, karena Ca merupakan kation yang paling cocok untuk mengurangi kemasaman tanah atau menaikkan pH tanah (Indranada, 1994).

Natrium merupakan unsur penyusun lithosfer ke-6 setelah Ca, yaitu 2,75%, yang berperan penting dalam menentukan karakteristik tanah dan pertumbuhan tanaman di daerah arid dan semi-arid (kering dan agak kering) yang berdekatan dengan pantai karena tingginya kadar Na air laut (Hanafiah, 2005). Natrium diserap dalam bentuk ion Na. Natrium bukan merupakan unsur hara tanaman yang penting. Walaupun dalam tanaman tidak mengandung Na, tanaman tidak menunjukkan adanya gangguan metabolisme. Pengaruh Na sering bersifat tidak langsung terhadap tanaman karena antagonis terhadap unsur lain. Kadar Na besar menyebabkan penyerapan K terhambat (Rosmarkam dan Yuwono, 2002).

Penambahan bahan organik akan meningkatkan muatan negatif sehingga akan meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK). Kapasitas pertukaran kation (KPK) menunjukkan kemampuan tanah untuk menahan kation-kation dan mempertukarkan kation-kation tersebut termasuk kation hara tanaman. Kapasitas pertukaran kation penting untuk kesuburan tanah (Atmojo, 2003). Nilai KTK tanah sangat beragam serta tergantung pada sifat dan ciri tanah tersebut. Besar kecilnya KTK tanah dipengaruhi oleh reaksi tanah, tekstur atau jumlah liat, jenis mineral liat, bahan organik dan pengapuran atau pemupukan (Hardjowigeno, 2003).

2.5 Pengaruh Bahan Organik terhadap Sifat Fisik Tanah

Bahan organik tanah merupakan salah satu bahan pembentuk agregat tanah yang mempunyai peran sebagai bahan perekat antar partikel tanah untuk bersatu menjadi agregat tanah, sehingga bahan organik penting dalam pembentukan struktur tanah. Pengaruh pemberian bahan organik terhadap struktur tanah sangat berkaitan dengan tekstur tanah yang diperlukan (Atmojo, 2003). Pada tanah lempung yang berat, terjadi perubahan struktur gumpal kasar dan kuat menjadi struktur yang lebih halus tidak kasar, dengan derajat struktur sedang hingga kuat, sehingga lebih mudah untuk diolah. Komponen organik seperti asam humat dan asam fulvat dalam hal ini berperan sebagai sementasi partikel lempung dengan membentuk kompleks lempung-logam-humus (Stevenson, 1982 *dalam* Atmojo, 2003). Pada tanah pasiran bahan organik dapat diharapkan merubah struktur tanah dari berbutir tunggal menjadi bentuk gumpal, sehingga

meningkatkan derajat struktur dan ukuran agregat atau meningkatkan kelas struktur dari halus menjadi sedang atau kasar (Scholes *et al.*, 1994 dalam Atmojo, 2003).

Pengaruh bahan organik terhadap sifat fisika tanah yang lain adalah terhadap peningkatan porositas tanah. Porositas tanah adalah ukuran yang menunjukkan bagian tanah yang tidak terisi bahan padat tanah yang terisi oleh udara dan air. Pori-pori tanah dapat dibedakan menjadi pori mikro, pori meso dan pori makro. Tanah yang didominasi pasir akan banyak mempunyai pori-pori makro (besar) (disebut lebih *poreus*), tanah yang didominasi debu akan banyak mempunyai pori-pori meso (sedang) (agak *poreus*), sedangkan yang didominasi liat akan banyak mempunyai pori-pori mikro (kecil) atau tidak *poreus* (Hanafiah, 2005). Menurut Olsen dan Watanabe (1963), konsentrasi fosfor pada tanah bertekstur kasar (pasir) lebih tinggi daripada tanah bertekstur halus, jika tidak maka difusi fosfor pada tanah bertekstur pasir menjadi faktor pembatas dalam serapan hara fosfor. Pada umumnya, fosfor di dalam tanah berada dalam keadaan tidak larut, sehingga dalam keadaan demikian tak mungkin untuk masuk ke dalam sel-sel akar. Akan tetapi sebagai anion, fosfat dapat bertukar dengan mudah dengan ion OH⁻ (Dwijoseputro, 1980).

Tekstur tanah juga berpengaruh terhadap KTK tanah. Semakin halus tekstur tanah semakin tinggi pula KTK tanahnya. Pada tanah dengan nilai KTK relatif rendah, proses penyerapan unsur hara oleh koloid tanah tidak berlangsung intensif, dan akibatnya unsur-unsur hara tersebut akan dengan mudah tercuci dan hilang bersama gerakan air di tanah (infiltrasi, perkolasi), dan pada gilirannya hara tidak tersedia bagi pertumbuhan tanaman. Turunnya nilai KTK tanah tersebut dapat disebabkan karena menurunnya kandungan bahan organik tanah sebagai akibat dari kegiatan fisik di badan tanah (Hikmah, 2009).

2.6 Ultisol

Ultisol merupakan salah satu jenis tanah di Indonesia yang mempunyai sebaran luas mencapai 45.794.000 ha atau sekitar 25% dari total luas daratan Indonesia. Sebaran terluas terdapat di Kalimantan (21.938.000 ha), diikuti di Sumatera (9.469.000 ha), Maluku dan Papua (8.859.000 ha), Sulawesi (4.303.000 ha), Jawa (1.172.000 ha), dan Nusa Tenggara (53.000 ha). Tanah ini dapat

dijumpai pada berbagai relief, mulai dari datar hingga bergunung (Prasetyo dan Suriadikarta, 2006).

Ultisol merupakan tanah yang mengalami pencucian intensif, lapisan atas berwarna abu-abu muda sampai kekuningan, lapisan bawah berwarna merah atau kuning, terdapat akumulasi liat, struktur gumpal, permeabilitas rendah, stabilitas agregat rendah serta terbentuk dari bahan induk tua, misalnya batuan vulkanik masam, atau batuan liat (Eliarti, 2013). Selain itu, Ultisol sering diidentikkan dengan tanah yang tidak subur karena memiliki banyak permasalahan yaitu, reaksi masam, kadar Al tinggi sehingga menjadi racun tanaman dan menyebabkan fiksasi P, unsur hara rendah, diperlukan tindakan pengapuran dan pemupukan (Hardjowigeno, 2003).

Oleh karena itu, untuk meningkatkan produktivitas Ultisol dapat dilakukan dengan meningkatkan ketersediaan unsur hara dan sifat kimia tanah. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah melalui pemberian pupuk organik. Pupuk organik merupakan pupuk yang diperoleh dari hasil dekomposisi oleh mikroorganisme dari sisa-sisa tanaman dan hewan. Pupuk organik yang mengandung sejumlah unsur hara akan menyumbangkan unsur hara tersebut apabila bahan organik tersebut mengalami proses dekomposisi di dalam tanah (Armada *et al*, 2017).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia dan Biologi Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya Malang. Penelitian akan dilaksanakan pada bulan Desember 2017 sampai dengan bulan Maret 2018.

3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi timbangan digital, nampan, gunting, oven, alat tulis, kamera dan alat-alat laboratorium yang mendukung untuk masing-masing analisis perlakuan yang telah ditetapkan.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi Ultisol yang memiliki tekstur tanah lempung berliat dan tekstur tanah lempung berpasir yang diambil dari Jambi, limbah kelapa sawit yang digunakan diantaranya tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan serabut (*fiber*), polybag 15×20 cm, dan bahan-bahan kimia yang digunakan untuk analisis di laboratorium.

3.3 Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan percobaan inkubasi selama 4, 6, 8, 10 dan 12 minggu untuk mengetahui ketersediaan unsur hara dan sifat kimia tanah pada Ultisol dengan adanya penambahan bahan organik tandan kosong kelapa sawit dan serabut (*fiber*). Pemberian dosis bahan organik pada setiap perlakuan yaitu setara 10 ton/ha (Lampiran 3). Penelitian dilaksanakan dengan menggunakan metode Rancangan Acak Lengkap (RAL) satu faktor dengan tiga kali ulangan dan enam perlakuan. Adapun perlakuan pemberian tandan kosong kelapa sawit disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 1. Perlakuan Percobaan.

No.	Simbol	Perlakuan	Berat tanah (g/polybag)	Dosis Bahan organik (g)
1.	T1B1	Tanah bertekstur lempung berliat + Tandan kosong kelapa sawit	421,04	2,02
2.	T1B2	Tanah bertekstur lempung berliat + serabut (<i>fiber</i>)	421,04	1,97
3.	T1B3	Tanah bertekstur lempung berliat + Tandan kosong kelapa sawit + serabut (<i>fiber</i>)	421,04	2,00
4.	T2B1	Tanah bertekstur lempung berpasir + Tandan kosong kelapa sawit	412,36	1,61
5.	T2B2	Tanah bertekstur lempung berpasir + serabut (<i>fiber</i>)	412,36	1,57
6.	T2B3	Tanah bertekstur lempung berpasir + Tandan kosong kelapa sawit + serabut (<i>fiber</i>)	412,36	1,58

Keterangan : **T1** = Tanah bertekstur lempung berliat; **T2** = Tanah bertekstur lempung berpasir; **B1** = Tandan kosong kelapa sawit; **B2** = Serabut (*fiber*); **B3** = Tandan kosong kelapa sawit + Serabut (*fiber*).

3.4 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan meliputi: 1) Pengambilan Sampel Tanah; 2) Persiapan Media; 3) Analisa Dasar; 4) Pencampuran Tanah dengan Bahan Organik dan Inkubasi; 5) Pengamatan Penelitian; dan 6) Analisa Kimia Tanah.

3.4.1 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah dilakukan sebelum pemberian bahan organik. Contoh tanah yang diambil yaitu sampel tanah komposit yang digunakan untuk media penelitian dan analisa dasar kimia tanah meliputi pH, C-organik, N-total, P-tersedia, K-dd, Na, Ca, Mg, dan KTK. Sampel tanah komposit masing-masing diambil secara acak pada dua lokasi berbeda yaitu Kabupaten Batanghari dan Kabupaten Sarolangun, Jambi dengan kedalaman 0 - 20 cm.

3.4.2 Persiapan Media

Media yang dipersiapkan untuk analisis kimia tanah yaitu contoh tanah Ultisol dan limbah kelapa sawit. Contoh tanah yang sudah diambil dikeringudarkan, ditumbuk dan dilakukan pengayakan lolos saringan 2 mm. Limbah kelapa sawit berupa tandan kosong kelapa sawit dan serabut (*fiber*) sebelum dipakai terlebih dahulu dikeringudarkan karena kondisinya lembab dan dipotong sebesar ± 2 cm.

3.4.2 Analisa Dasar

Analisa dasar dilakukan sebelum perlakuan pada sampel tanah dan bahan organik yakni, tandan kosong dan serabut kelapa sawit. Analisa dasar tanah meliputi pH, C-organik, N-total, P-tersedia, K-dd, Ca, Mg, Na, dan KTK. Sedangkan analisa dasar bahan organik meliputi C-organik, N, P, K, Ca, Mg, lignin, dan polifenol. Hasil analisa dasar kimia tanah dan bahan organik disajikan pada Lampiran 5 dan Lampiran 6.

3.4.3 Pencampuran Tanah dengan Bahan Organik dan Inkubasi

Dosis bahan organik yang diaplikasikan setara dengan 10 ton/ha (Lampiran 3.), ditambahkan ke dalam tanah kering udara sebanyak 421,04 g (tanah bertekstur lempung berliat) dan 412,36 g (tanah bertekstur lempung berpasir) hasil ayakan 2 mm secara merata, kemudian diinkubasi di dalam polybag berukuran 15×20 cm. Tanah di inkubasi dalam keadaan tertutup, dengan lama inkubasi 4, 6, 8, 10, dan 12 minggu. Selama proses inkubasi dilakukan penambahan air sesuai kapasitas lapang (Lampiran 1.).

3.4.4 Pengamatan Penelitian

Pengamatan penelitian yang dilakukan berupa pengambilan sampel tanah yang telah diinkubasi pada minggu ke 4, 6, 8, 10, dan 12 untuk dianalisis di laboratorium. Sampel tanah diambil sebanyak 18 polybag untuk tiap pengamatan. Sampel tanah yang telah diambil dikeringudarkan terlebih dahulu, kemudian sampel tanah diayak dengan lolos ayakan sebesar 2 mm dan 0,5 mm. Sampel tanah hasil ayakan tersebut digunakan untuk analisa kimia tanah di laboratorium.

3.4.5 Analisa Kimia Tanah

Analisa kimia tanah dilakukan sebelum perlakuan sebagai analisa dasar dan setelah diberi perlakuan pada 4 sampai 12 minggu setelah inkubasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Variabel Pengamatan

Objek Pengamatan	Pengamatan	Metode	Waktu
Tanah	a. pH H ₂ O 1:1	<i>Glass electrode</i>	
	b. C-organik	Walkley and Black	
	c. N-Total	Kjeldahl	Sebelum perlakuan, 4, 6, 8, 10, 12 MSI
	d. P tersedia	Bray	
	e. K tersedia	Larutan Penyangga	
	f. KTK	NH ₄ OAc pH 7.0	
	g. Na, Ca, Mg		
Bahan organik - Tandan kosong tanah - Serabut (fiber)	a. C-organik	Walkey and Black	
	b. N-Total	Kjeldahl	
	c. C/N rasio		Sebelum perlakuan
	d. Fosfor		
	e. Kalium	Pengabuan Basah	
	f. Ca dan Mg		

Keterangan: MSI = Minggu Setelah Inkubasi

3.5 Analisis Data

Data hasil penelitian direkapitulasi menggunakan *software Microsoft Excel 2013*. Kemudian dilakukan analisa data dengan menggunakan analisa ragam atau *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan taraf 5%. Apabila pada analisa ragam didapatkan perbedaan yang nyata ($F_{hitung} > F_{tabel}$) maka dilakukan uji lanjut menggunakan BNT (Beda Nyata Terkecil) dengan taraf 5%. Analisa data dengan *software* dilakukan dengan menggunakan *software Genstat*.

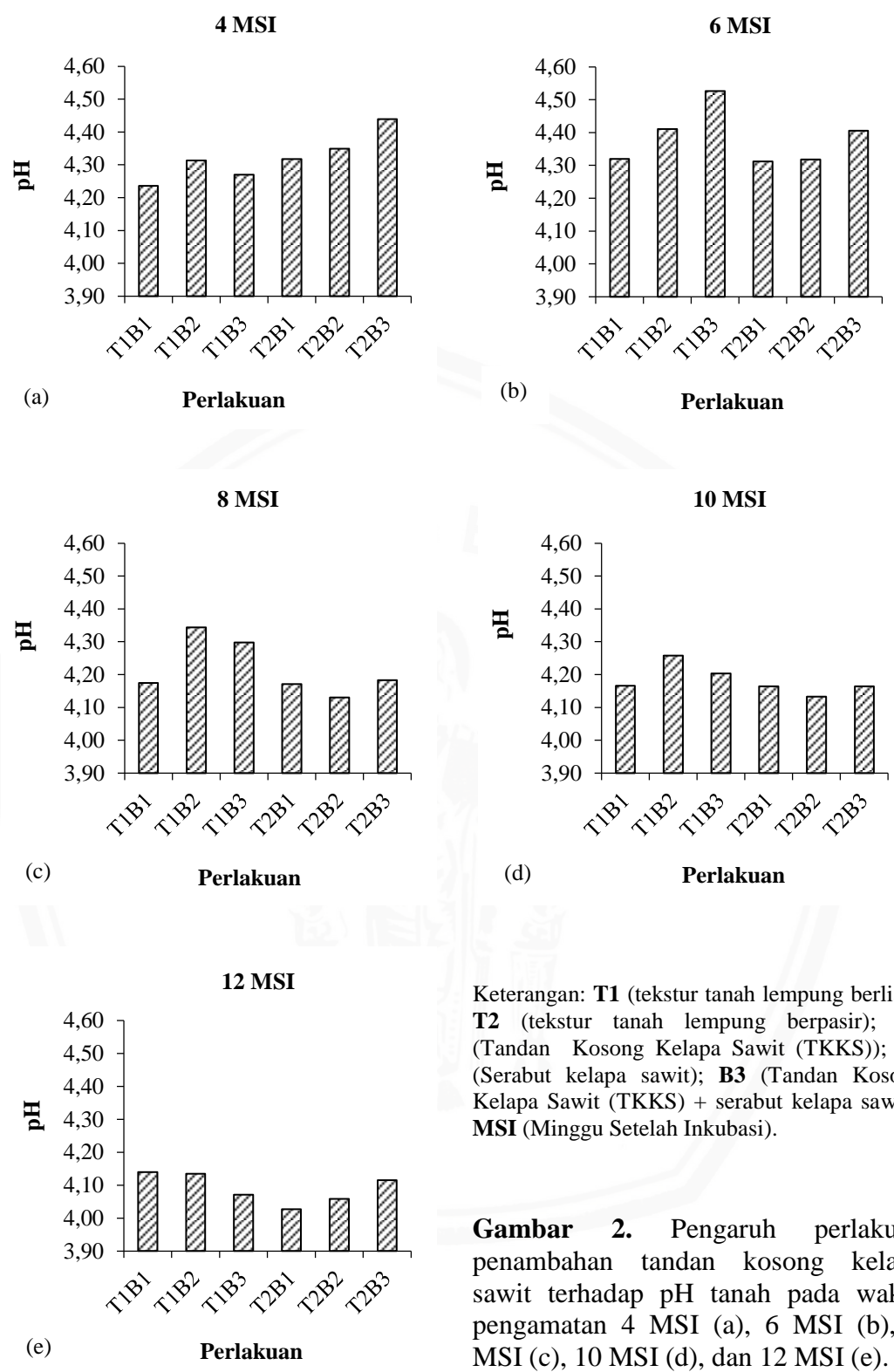
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Penambahan Tandan Kosong Kelapa Sawit terhadap Sifat Kimia Tanah

4.1.1 Nilai pH Tanah

pH tanah adalah indikator yang menunjukkan tingkat konsentrasi ion hidrogen (H^+) di dalam tanah. Nilai suatu pH sangat berpengaruh dalam penyediaan unsur hara di dalam tanah yang akan diserap oleh tanaman. Kondisi kemasaman tanah (pH tanah) setelah adanya perlakuan menunjukkan hasil yang beragam antara perlakuan satu dengan yang lainnya (Gambar 2). Secara umum diketahui bahwa nilai pH berada di kisaran 4,027 - 4,527 (kriteria sangat masam).

Hasil analisis ragam menunjukkan bahwa pemberian tanah bertekstur lempung berpasir dan lempung berliat yang dikombinasikan dengan tandan kosong kelapa sawit pada Ultisol berpengaruh secara tidak nyata terhadap pH tanah (Lampiran 7a). Hal ini disebabkan karena adanya sifat sanggahan dari koloid tanah bertekstur lempung berliat dan lempung berpasir dengan bahan organik berupa tandan kosong kelapa sawit terhadap perubahan pH tanah. Menurut Utomo *et al.* (2016) bila terjadi pengurangan konsentrasi ion H^+ dalam larutan tanah maka akan terjadi pelepasan ion H^+ dari kompleks jerapan sebagai kompensasi pengurangan H^+ . Melalui proses ini maka pH tanah akan stabil. Begitu pula bila ada upaya penurunan pH atau bertambahnya ion H^+ dalam larutan tanah maka sebagian ion H^+ akan dijerap koloid tanah. Semakin tinggi kemampuan sanggahan tanah maka semakin sulit terjadi perubahan pH.



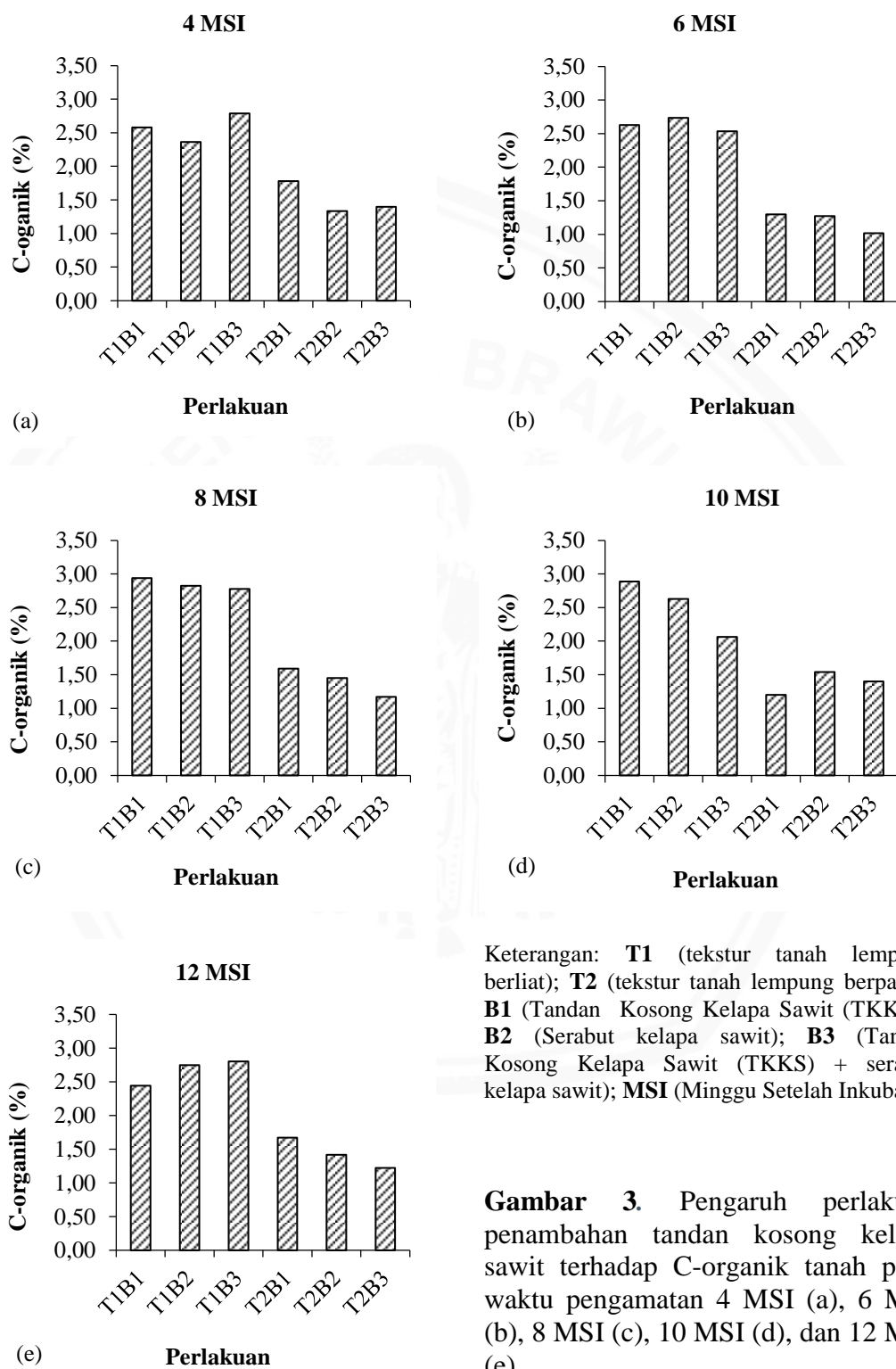
4.1.2 Kadar C-Organik Tanah

Kandungan C-organik di dalam tanah memiliki peranan penting dalam penentuan tingkat kesuburan tanah baik secara fisik, kimia maupun biologi tanah. Hasil analisa tanah dasar menunjukkan bahwa Ultisol memiliki kandungan C-organik tanah yang sangat rendah sebesar 0,544% (tekstur lempung berliat) dan 0,397% (tekstur lempung berpasir) (Lampiran 5). Rendahnya kandungan C-organik pada tanah ini karena Ultisol merupakan tanah yang miskin unsur hara terutama kandungan bahan organik. Menurut Harjowigeno (2003) bahwa tanah Ultisol pada umumnya mempunyai kadar bahan organik yang rendah ($< 1\%$).

Hasil sidik ragam menunjukkan bahwa dengan perlakuan penambahan tandan kosong kelapa sawit berpengaruh nyata dalam meningkatkan C-organik tanah (Lampiran 7b.). Pemberian bahan organik berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serabut kelapa sawit dan kombinasi keduanya selama 12 minggu inkubasi mengalami peningkatan kadar C-organik tanah bila dibandingkan dengan kondisi sebelum perlakuan (Gambar 3) namun, selama pengamatan per minggu mengalami fluktuasi kadar C-organik tanah. Terjadinya peningkatan kandungan C-organik tanah ini, karena bahan organik tandan kosong kelapa sawit yang digunakan memiliki kandungan C-organik sebesar 38,66 % (Tandan kosong kelapa sawit), 40,69 % (serabut), dan 43,89 % (Tandan kosong + serabut kelapa sawit) (Lampiran 6) dan merupakan salah satu sumber utama bahan organik. Hal ini sesuai dengan Darmosarkoro dan Winarna (2001) yang menyatakan bahwa kompos tandan kosong kelapa sawit yang dihasilkan oleh pabrik kelapa sawit merupakan sumber hara potensial yang berfungsi sebagai bahan pembenah tanah karena tingginya kandungan karbon yang terdapat dalam bahan organik. Hal ini didukung oleh Anas (2000) bahwa dengan penambahan bahan organik berupa kompos tandan kosong kelapa sawit kedalam tanah rata-rata kandungan C-organik tanah meningkat sekitar 28-54%.

Gambar 3 menunjukkan bahwa tanah dengan tekstur lempung berliat memiliki kadar C-organik lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanah bertekstur lempung berpasir. Peningkatan tertinggi terjadi pada waktu inkubasi 8 minggu yakni pada perlakuan T1B1 (tanah bertekstur lempung berliat + TKKS) sebesar 2,393 %. Tekstur tanah lempung berliat memiliki kapasitas adsorpsi unsur-unsur

hara lebih besar bila dibandingkan dengan tekstur tanah lempung berpasir. Selain itu, tekstur lempung berliat memiliki kemampuan menahan air dan kandungan KTK relatif tinggi (Hardjowigeno, 2003).



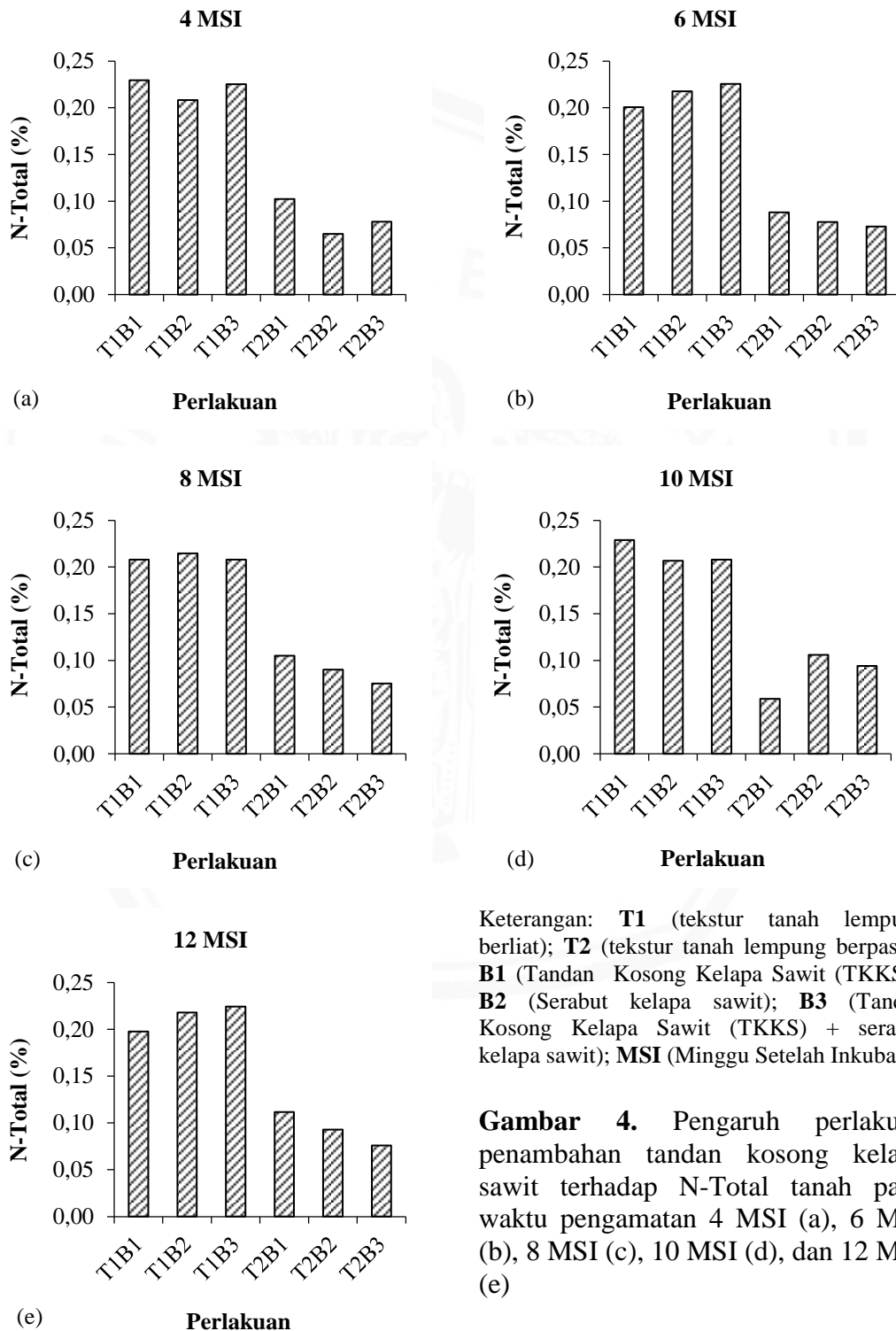
4.1.3 Kadar N-Total Tanah

Ketersediaan nitrogen merupakan salah satu unsur hara yang sangat penting dan dapat disediakan melalui pemupukan. Selain itu unsur nitrogen (N) dan karbon (C) merupakan faktor penting yang berpengaruh dalam proses laju dekomposisi bahan organik. Hasil analisis tanah dasar menunjukkan bahwa Ultisol memiliki kandungan N-total tanah dengan kriteria sedang yakni sebesar 0,307 % (tekstur lempung berliat) dan kriteria sangat rendah yakni 0,094 % (tekstur lempung berpasir) (Lampiran 5). Berdasarkan hasil analisis sidik ragam (Lampiran 7) didapatkan bahwa penambahan bahan organik berpengaruh nyata terhadap kadar N-total tanah.

Pemberian bahan organik berupa tandan kosong kelapa sawit (TKKS), serabut kelapa sawit dan kombinasi keduanya selama 12 minggu inkubasi mengalami penurunan kadar N-total tanah dibandingkan analisa sebelum perlakuan (Gambar 4) namun, selama pengamatan per minggu mengalami fluktuasi kadar N-total tanah. Gambar 4 menunjukkan bahwa Ultisol yang memiliki tekstur lempung berliat (T1B1, T1B2, dan T1B3) memiliki nilai N-total lebih tinggi dibandingkan dengan tekstur lempung berpasir (T2B1, T2B2, dan T2B3). Hal ini disebabkan karena kandungan N-total pada tanah bertekstur lempung berliat sebelum perlakuan lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanah bertekstur lempung berpasir.

Nilai rata-rata N-total tanah pada tekstur tanah lempung berliat berkisar antara 0,197% – 0,229% dan termasuk dalam kriteria rendah hingga sedang. Namun, nilai tersebut mengalami penurunan N-total tanah sebesar 0,078% – 0,11% bila dibandingkan dengan N-total tanah sebelum perlakuan. Sedangkan pada tekstur tanah lempung berpasir memiliki nilai rata-rata N-total sebesar 0,059% – 0,111% dengan kriteria sangat rendah hingga rendah. Penurunan kandungan Nitrogen dapat terjadi apabila bahan organik memiliki kadar lignin dan polifenol tinggi, $N < 1,2 \%$ dan $C/N > 33 : 1$, maka immobilisasi lebih dominan dari mineralisasi sehingga terjadi penurunan akumulasi N. Diketahui bahwa tandan kosong kelapa sawit memiliki kadar lignin $< 4\%$, polifenol $< 15\%$, $N < 1,2\%$, dan $C/N > 30\%$ (Lampiran 6), sehingga bahan organik akan sulit terdekomposisi dan terjadinya proses immobilisasi nitrogen. Hal ini relatif sama

dengan penelitian yang dilakukan oleh Yeoh (2012), menyatakan bahwa kadar lignin dan polifenol dapat menekan tingkat mineralisasi N karena lignin akan terdegradasi menjadi senyawa fenolik dan senyawa tersebut sebagai polifenol yang berkombinasi dengan protein dan asam amino tanaman menjadi polimer humik yang sukar lapuk.



4.1.4 Kadar P-Tersedia Tanah

Fosfor merupakan salah satu unsur hara makro yang dibutuhkan oleh tanaman dan mikroorganisme di dalam tanah. Ketersediaan fosfor di dalam tanah terbatas dan tidak stabil, tergantung populasi mikroorganisme. Keberadaan fosfor dalam tanah berasal dari bahan organik dan residu pupuk fosfor. Berdasarkan hasil analisa tanah awal menunjukkan bahwa Ultisol memiliki kandungan P-tersedia sangat rendah yakni sebesar 4,026 ppm (tekstur lempung berliat) dan 2,729 ppm (tekstur lempung berpasir) (Lampiran 5). Pemberian bahan organik tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan perbedaan jenis bahan organik yang diberikan pada kedua tekstur tanah berpengaruh nyata terhadap P-tersedia tanah pada minggu ke 4 dan 12 setelah inkubasi. Hasil analisis P-tersedia Ultisol akibat penambahan bahan organik TKKS dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Rerata kadar P-tersedia tanah

Perlakuan	Nilai Rerata kadar P-tersedia tanah (ppm) \pm s.e.d				
	4 MSI	6 MSI	8 MSI	10 MSI	12 MSI*
T1B1	1,112 \pm	2,827 \pm	1,665 \pm	1,891 \pm	1,100 \pm
	0,770 b	0,915 a	1,670 a	2,128 a	2,821 a
T1B2	1,379 \pm	3,084 \pm	0,819 \pm	1,624 \pm	1,354 \pm
	0,255 b	0,597 a	0,220 a	0,130 a	0,422 ab
T1B3	0,817 \pm	2,754 \pm	2,447 \pm	1,615 \pm	1,610 \pm
	0,145 ab	0,589 a	1,057 a	0,384 a	0,307 ab
T2B1	1,288 \pm	5,969 \pm	2,847 \pm	1,550 \pm	3,875 \pm
	0,346 b	1,672 a	0,591 a	0,301 a	0,921 c
T2B2	0,258 \pm	3,908 \pm	2,583 \pm	2,592 \pm	3,374 \pm
	0,184 a	1,023 a	0,705 a	0,619 a	0,730 c
T2B3	0,260 \pm	3,670 \pm	1,808 \pm	2,329 \pm	2,333 \pm
	0,185 a	0,845 a	0,560 a	0,703 a	0,522 b
BNT 5%	0,354	1,208	1,029	0,581	0,463

Keterangan: Angka rerata yang didampingi huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%. **T1B1** = tanah lempung berliat + TKKS; **T1B2** = tanah lempung berliat + serabut; **T1B3** = tanah lempung berliat + TKKS + serabut; **T2B1** = tanah lempung berpasir + TKKS; **T2B2** = tanah lempung berpasir + serabut; **T2B3** = tanah lempung berpasir + TKKS + serabut. **MSI** = Minggu Setelah Inkubasi.

Tabel 3 menunjukkan perlakuan tanah bertekstur lempung berpasir + TKKS (T2B1) memiliki kadar P-tersedia tertinggi di minggu ke-6 setelah masa inkubasi sebesar 5,969 ppm (Tabel 3) atau meningkat sekitar 3,244 ppm bila dibandingkan dengan analisa tanah dasar. Sedangkan pada tanah bertekstur lempung berliat + TKKS (T1B1) memiliki kadar P-tersedia sebesar 2,827 ppm

lebih rendah dibandingkan dengan kadar P-tersedia analisa tanah dasar yang menurun sekitar 1,199 ppm. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan bahan organik yang sama yakni TKKS memberikan pengaruh yang berbeda pada dua jenis tekstur tanah. Selain itu, penambahan bahan organik TKKS tidak merubah kriteria P-tersedia tanah yakni masih berada pada kriteria sangat rendah.

Hasil analisis pengaruh penambahan bahan organik TKKS, serabut kelapa sawit, dan campuran keduanya terhadap P-tersedia tanah menunjukkan adanya penurunan dibandingkan analisa dasar tanah. Penurunan terjadi karena tanah berada pada kondisi masam yakni $\text{pH} < 4,5$ dimana pada kondisi tersebut kadar P akan semakin menurun. Kadar P-tersedia pada tanah bertekstur lempung berpasir lebih tinggi dibandingkan dengan tanah bertekstur lempung berliat karena ketersediaan fosfor bergantung pada tekstur tanah dan ketersediaan air. Hal ini diperkuat oleh pendapat Olsen dan Watanabe (1963), konsentrasi fosfor pada tanah bertekstur kasar (berpasir) lebih tinggi daripada tanah bertekstur halus, jika tidak maka difusi fosfor pada tanah bertekstur pasir menjadi faktor pembatas dalam serapan hara fosfor. Adanya penurunan porositas tanah (memburuknya aerasi) juga merupakan faktor yang paling berpengaruh dalam penyerapan P. Semakin rendah porositas tanah, maka semakin rendah pula kemampuan tanah dalam penyerapan unsur P sehingga ketersediaan P lebih rendah.

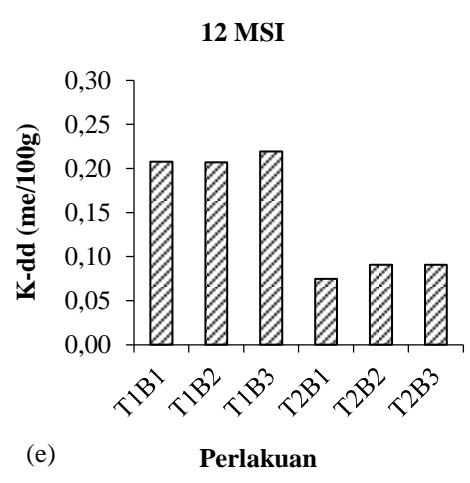
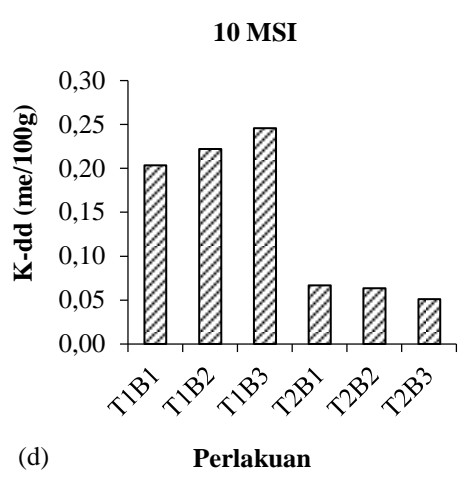
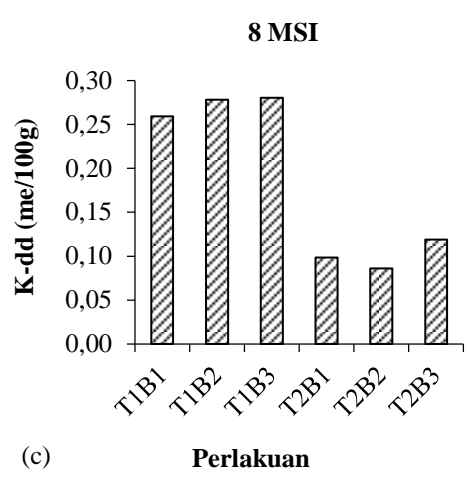
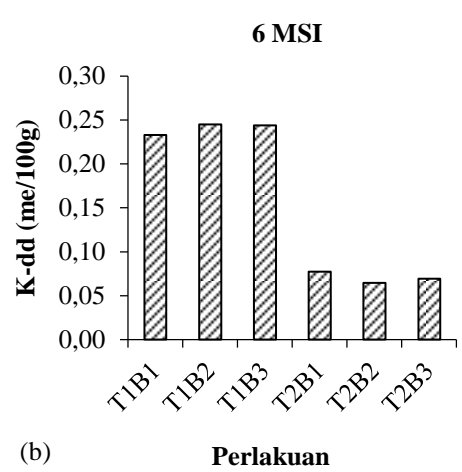
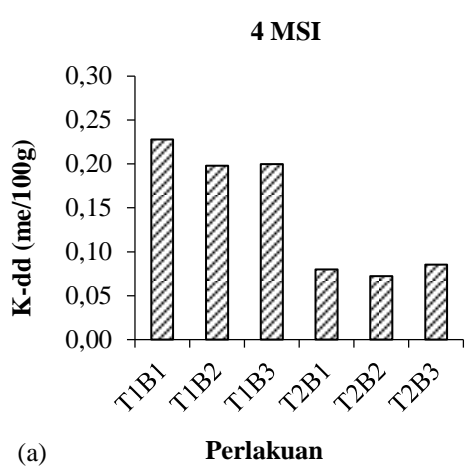
4.1.5 Kadar K-dd Tanah

Unsur K ditemukan dalam jumlah banyak di dalam tanah, tetapi hanya sebagian kecil yang digunakan oleh tanaman. Kalium yang tersedia dalam tanah tidak selalu tetap dalam keadaan tersedia, tetapi masih berubah menjadi bentuk yang lambat untuk diserap oleh tanaman (*slowly available*).

Berdasarkan hasil analisis tanah awal diketahui bahwa Ultisol memiliki kandungan K-dd sebesar 0,087 me/100g (tekstur tanah lempung berliat) dan 0,010 me/100g (tekstur tanah lempung berpasir) (Lampiran 5) tergolong dalam kriteria sangat rendah. Hasil analisis ragam aplikasi bahan organik memiliki pengaruh yang nyata dalam meningkatkan kalium tersedia di dalam tanah (Lampiran 7f) setelah diinkubasi selama 12 minggu. Penambahan bahan organik selama masa inkubasi cenderung mengalami peningkatan K-dd tanah dibandingkan analisa sebelum perlakuan (Gambar 5). Hal ini disebabkan tingginya kandungan hara K

dari standar (0,2 %) pada tandan kosong dan serabut kelapa sawit yakni sebesar 0,21 % dan 0,32 % sehingga mampu menyumbangkan unsur hara tersebut kedalam tanah. Hal ini sesuai dengan Mulyani (2016) yang menyatakan bahwa terjadinya peningkatan kadar K-dd tanah yakni sebesar 0,50 – 0,90 me/100g setelah diberikan perlakuan kompos tandan kosong kelapa sawit dan abu boiler pada Ultisol.

Nilai rata-rata K-dd tanah yang diperoleh setelah diinkubasi selama 12 minggu berkisar antara 0,051 me/100g – 0,280 me/100g dan tergolong dalam kriteria sangat rendah hingga rendah. Kadar K-dd tanah pada tanah bertekstur lempung berliat lebih tinggi dibandingkan dengan tanah bertekstur lempung berpasir. Pada tanah bertekstur lempung berliat peningkatan kadar K-dd tertinggi (8 MSI) terdapat pada perlakuan kombinasi TKKS dan serabut kelapa sawit (T1B3) sebesar 0,280 me/100g atau meningkat sekitar 0,193 me/100g dibandingkan sebelum perlakuan. Kemudian diikuti oleh T1B2 (lempung berliat + serabut) sebesar 0,278 me/100g dan T1B1 (lempung berliat + TKKS) sebesar 0,259 me/100g. Sedangkan pada tanah bertekstur lempung berpasir peningkatan kadar K-dd tertinggi (8 MSI) terdapat pada perlakuan kombinasi TKKS dan serabut kelapa sawit (T2B3) sebesar 0,119 me/100g atau meningkat sebesar 0,109 me/100g dibandingkan tanah awal. Kemudian peningkatan K-dd tanah disusul oleh perlakuan T2B1 (lempung berpasir + TKKS) dan T2B2 (lempung berpasir + TKKS + serabut) yakni sebesar 0,098 me/100g dan 0,086 me/100g.



Keterangan: **T1** (tekstur tanah lempung berliat); **T2** (tekstur tanah lempung berpasir); **B1** (Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS)); **B2** (Serabut kelapa sawit); **B3** (Tandan Kosong Kelapa Sawit (TKKS) + serabut kelapa sawit); **MSI** (Minggu Setelah Inkubasi).

Gambar 5. Pengaruh perlakuan penambahan tandan kosong kelapa sawit terhadap K-dd tanah pada waktu pengamatan 4 MSI (a), 6 MSI (b), 8 MSI (c), 10 MSI (d), dan 12 MSI (e)



4.1.6 Kation-kation Basa dapat dipertukarkan

Hasil analisis ragam pemberian bahan organik tandan kosong kelapa sawit dan perbedaan jenis bahan organik yang ditambahkan pada Ultisol menunjukkan berpengaruh tidak nyata terhadap nilai Ca-dd, Mg-dd, dan Na-dd tanah (Lampiran 7), pada periode pengamatan 4, 6, 8, 10, dan 12 minggu setelah inkubasi (MSI). Hasil analisis Ca-dd, Mg-dd, dan Na-dd tanah akibat pemberian TKKS disajikan pada Tabel 4.

Berdasarkan hasil analisis tanah awal diketahui bahwa Ultisol memiliki kandungan Ca-dd sebesar 1,426 me/100g (tanah bertekstur lempung berliat) dan 1,532 me/100g (tanah bertekstur lempung berpasir) (lampiran 5). Penambahan bahan organik selama masa inkubasi mengalami peningkatan kandungan Ca-dd tanah dibandingkan dengan analisa sebelum perlakuan. Kadar Ca-dd tanah pada tanah bertekstur lempung berliat lebih tinggi bila dibandingkan dengan tanah bertekstur lempung berpasir. Peningkatan tertinggi terjadi pada minggu ke-4 setelah inkubasi yakni tanah bertekstur lempung berliat dengan penambahan TKKS dan serabut (T1B3) sebesar 3,211 me/100g (sangat rendah). Sedangkan pada tanah bertekstur lempung berpasir kadar Ca-dd tertinggi terdapat pada perlakuan dengan penambahan bahan organik berupa serabut kelapa sawit (T2B2) sebesar 3,050 me/100g (sangat rendah).

Peningkatan kandungan Ca-dd dan Mg-dd tanah terjadi karena adanya sumbangan Ca dan Mg yang berasal dari bahan organik tandan kosong dan serabut kelapa sawit. Kandungan Ca pada tandan kosong dan serabut kelapa sawit sebesar 0,87 % dan 0,80 % sedangkan kandungan Mg pada tandan kosong dan serabut kelapa sawit secara berurut yakni sebesar 0,09 % dan 0,20 %. Hal ini sesuai dengan Mulyani (2016) menyatakan bahwa aplikasi kompos tandan kosong kelapa sawit dan abu boiler mampu meningkatkan kadar Ca-dd pada Ultisol sebesar 41,28 % dibandingkan dengan tanah tanpa pemberian kompos dan mampu meningkatkan kadar Mg-dd Ultisol sebesar 1,24 – 1,42 me/100g.

Tabel 4. Rerata Kation-kation Basa Ca-dd, Mg-dd, dan Na-dd

Kation basa	Perlakuan	Nilai rerata ± s.e.d (me/100g)				
		4 MSI	6 MSI	8 MSI	10 MSI	12 MSI
Ca	T1B1	2,911 ± 0,341	2,281 ± 1,002	2,428 ± 1,492	1,382 ± 2,233	1,903 ± 2,615
	T1B2	1,728 ± 0,740	2,996 ± 0,894	1,876 ± 0,161	1,919 ± 0,216	2,195 ± 0,242
	T1B3	3,211 ± 0,886	2,386 ± 0,410	1,812 ± 0,471	2,013 ± 0,491	2,323 ± 0,612
	T2B1	2,539 ± 0,473	1,531 ± 0,310	1,781 ± 0,382	1,779 ± 0,377	1,626 ± 0,317
	T2B2	3,050 ± 0,665	1,897 ± 0,465	1,678 ± 0,352	1,734 ± 0,374	1,481 ± 0,315
	T2B3	2,295 ± 0,421	1,391 ± 0,239	1,880 ± 0,467	1,784 ± 0,405	1,734 ± 0,394
	BNT 5%	0,786	0,702	0,473	0,358	0,408
Mg	T1B1	1,585 ± 0,704	1,347 ± 1,402	0,594 ± 1,921	1,222 ± 2,281	1,205 ± 2,826
	T1B2	1,022 ± 0,280	0,945 ± 0,349	1,436 ± 0,471	1,276 ± 0,324	1,717 ± 0,386
	T1B3	1,174 ± 0,539	1,027 ± 0,526	1,809 ± 0,496	0,847 ± 0,212	1,377 ± 0,645
	T2B1	1,727 ± 0,426	0,613 ± 0,168	0,559 ± 0,145	1,220 ± 0,281	1,882 ± 0,435
	T2B2	0,940 ± 0,268	0,256 ± 0,043	2,285 ± 1,216	0,918 ± 0,279	1,687 ± 0,497
	T2B3	1,426 ± 0,389	0,775 ± 0,386	1,471 ± 0,471	1,685 ± 0,429	0,612 ± 0,326
	BNT 5%	0,661	0,847	1,120	0,418	0,826
Na	T1B1	0,322 ± 0,950	0,223 ± 1,492	0,313 ± 1,985	0,284 ± 2,509	0,184 ± 3,051
	T1B2	0,299 ± 0,170	0,235 ± 0,325	0,340 ± 0,426	0,283 ± 0,576	0,191 ± 0,738
	T1B3	0,298 ± 0,047	0,249 ± 0,023	0,344 ± 0,038	0,322 ± 0,070	0,200 ± 0,141
	T2B1	0,238 ± 0,056	0,250 ± 0,068	0,302 ± 0,074	0,259 ± 0,053	0,158 ± 0,017
	T2B2	0,288 ± 0,064	0,199 ± 0,035	0,297 ± 0,062	0,277 ± 0,059	0,180 ± 0,049
	T2B3	0,289 ± 0,063	0,197 ± 0,043	0,316 ± 0,068	0,288 ± 0,061	0,192 ± 0,043
	BNT 5%	0,053	0,036	0,056	0,051	0,037

Keterangan: Angka rerata yang didampingi huruf yang sama menunjukkan tidak berbeda nyata menurut uji BNT 5%. **T1B1** = tanah lempung berliat + TKKS; **T1B2** = tanah lempung berliat + serabut; **T1B3** = tanah lempung berliat + TKKS + serabut; **T2B1** = tanah lempung berpasir + TKKS; **T2B2** = tanah lempung berpasir + serabut; **T2B3** = tanah lempung berpasir + TKKS + serabut. **MSI** = Minggu Setelah Inkubasi

Hasil analisis Mg-dd menunjukkan bahwa pemberian bahan organik mengalami peningkatan selama masa inkubasi bila dibandingkan dengan kadar Mg-dd sebelum perlakuan (Lampiran 5). Peningkatan kadar Mg-dd terjadi pada minggu ke-4, 8, dan 12 setelah inkubasi. Peningkatan tertinggi terjadi pada minggu ke-8 yakni pada perlakuan tanah bertekstur lempung berpasir dengan penambahan bahan organik berupa serabut kelapa sawit (T2B2) sebesar 2,286 me/100g. Kemudian diikuti oleh T1B3 (tanah bertekstur lempung berliat + TKKS + serabut kelapa sawit) sebesar 1,809 me/100g dan T2B3 (tanah bertekstur lempung berpasir + TKKS + serabut kelapa sawit) sebesar 1,472 me/100g.

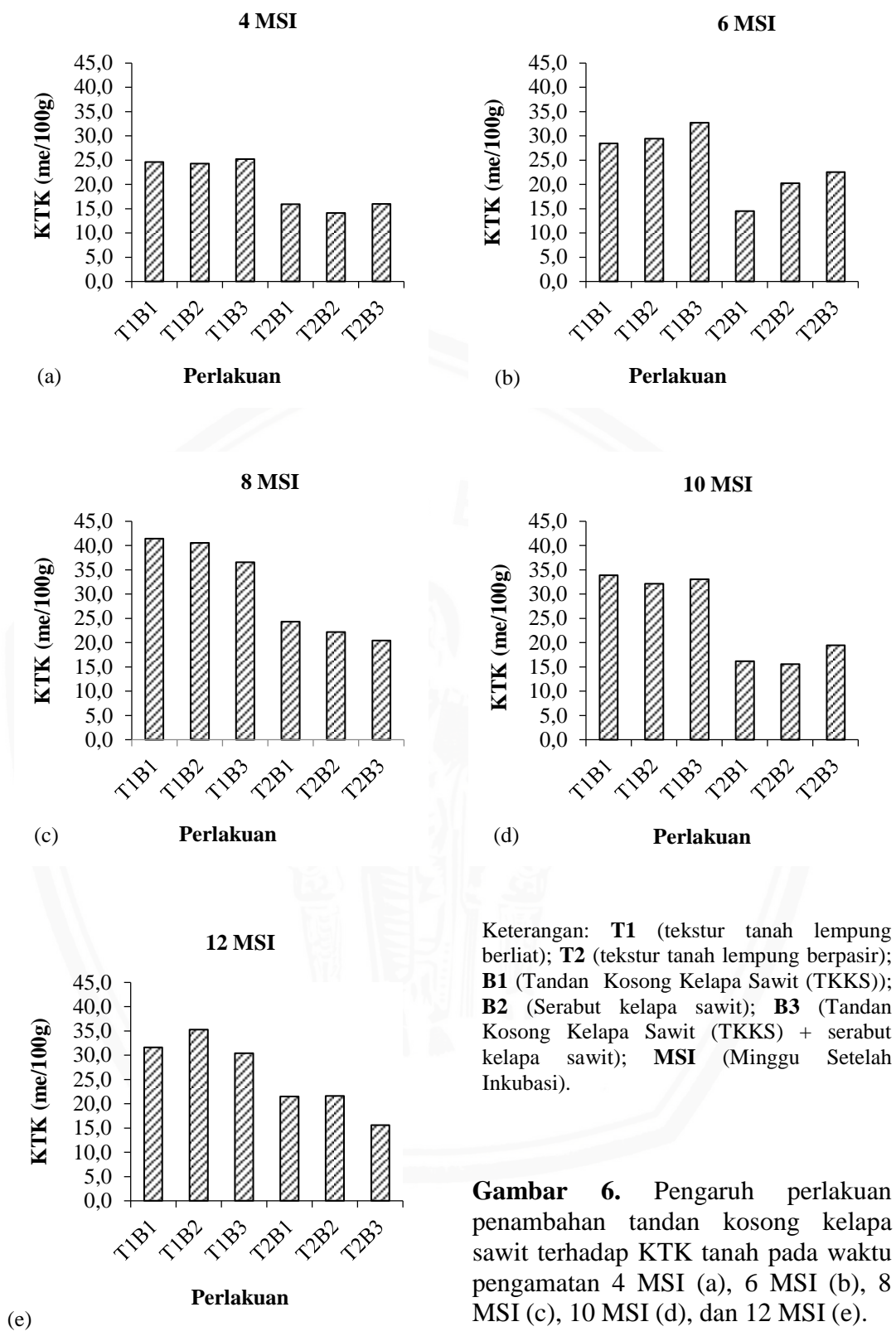
Berdasarkan hasil analisis tanah awal diketahui bahwa Ultisol memiliki kandungan Na-dd tanah sebesar 0,200 me/100g (tanah bertekstur lempung berliat) dan 0,161 me/100g (tanah bertekstur lempung berpasir). penambahan bahan organik berupa TKKS, serabut kelapa sawit dan kombinasi keduanya selama masa inkubasi mengalami peningkatan kadar Na-dd tanah bila dibandingkan dengan kondisi awal. Rata-rata kadar Na-dd tanah selama 12 minggu setelah inkubasi

berkisar antara 0,158 me/100g hingga 0,344 me/100g dan tergolong dalam kriteria sangat rendah (Lampiran 10). Peningkatan kadar Na-dd tertinggi terjadi pada minggu ke-8 setelah inkubasi yakni pada tanah bertekstur lempung berliat dengan kombinasi bahan organik TKKS + serabut kelapa sawit (T1B3) sebesar 0,344 me/100g. Kemudian diikuti oleh perlakuan T1B2 (tanah bertekstur lempung berliat + serabut kelapa sawit) sebesar 0,340 me/100g dan T2B3 (tanah bertekstur lempung berliat + TKKS + serabut kelapa sawit) sebesar 0,316 me/100g (Tabel 3).

Peningkatan kadar Na-dd tidak merubah kriteria tanah awal yakni termasuk dalam kategori rendah. Kondisi konsentrasi Na rendah secara umum menguntungkan karena Na bukan unsur esensial. Keberadaannya dalam tanah dengan konsentrasi tinggi dapat mengganggu pertumbuhan tanaman. Dari segi fisikokimia tanah, keberadaan Na dalam konsentrasi tinggi dapat merusak struktur tanah (sodik) sehingga tanah menjadi padat (Supriyadi, 2009).

4.1.7 KTK Tanah

Kapasitas Tukar Kation (KTK) merupakan sifat kimia yang sangat erat hubungannya dengan kesuburan tanah. Tanah dengan KTK tinggi mampu menjerat dan menyediakan unsur hara lebih baik dibandingkan tanah dengan KTK rendah. Hasil analisis tanah awal diketahui bahwa Ultisol memiliki KTK sebesar 25,930 me/100g (tanah bertekstur lempung berliat) dan 14,725 me/100g (tanah bertekstur lempung berpasir) (Lampiran 5) tergolong dalam kriteria rendah hingga tinggi. Berdasarkan hasil analisis ragam pemberian bahan organik TKKS berpengaruh nyata terhadap KTK tanah (Lampiran 7e). Penambahan bahan organik selama masa inkubasi mengalami peningkatan kadar KTK tanah bila dibandingkan dengan analisa sebelum perlakuan (Gambar 6).



Gambar 6 menunjukkan bahwa tanah dengan tekstur lempung berliat memiliki KTK tanah lebih tinggi dibandingkan dengan tekstur lempung berpasir. Tanah yang bertekstur liat tinggi akan memiliki KTK yang tinggi pula dibanding tanah yang didominasi tekstur pasir atau debu. Utomo *et al.* (2016) menyatakan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi adalah pH tanah, tekstur, jenis dan kadar mineral liat silikat dan kadar humus. Rata-rata kandungan KTK pada kedua jenis tekstur tanah berkisar antara 14,109 me/100g (rendah) hingga 41,412 me/100g (tinggi) (Lampiran 8). Peningkatan tertinggi terjadi pada minggu ke 8 setelah inkubasi yakni pada perlakuan T1B1 (tekstur lempung berliat + TKKS) sebesar 41,412 me/100g. Peningkatan KTK tanah tertinggi kedua terdapat pada perlakuan T1B2 (tekstur lempung berliat + serabut kelapa sawit) sebesar 40,553 me/100g. kemudian diikuti oleh T1B3 (tekstur tanah lempung berliat + TKKS + serabut kelapa sawit) sebesar 36,547 me/100g. Sedangkan pada tekstur tanah lempung berpasir KTK tertinggi (8 MSI) terdapat pada perlakuan T2B1 (tanah bertekstur lempung berpasir + TKKS) sebesar 24,339 me/100g, kemudian diikuti oleh perlakuan T2B2 (tanah bertekstur lempung berpasir + serabut kelapa sawit) dan T2B3 (tanah bertekstur lempung berpasir + TKKS + serabut kelapa sawit) secara berurut yakni 22,191 me/100g dan 20,425 me/100g (Lampiran 8). Besarnya nilai KTK pada waktu inkubasi 8 minggu terjadi karena bahan organik tandan kosong kelapa sawit dan serabut mengalami proses dekomposisi sehingga menghasilkan banyak koloid bermuatan negatif. Menurut Utomo *et al.* (2016) terdapat dua jenis koloid yaitu koloid organik dan anorganik. Koloid organik diwakili oleh humus, sedangkan koloid anorganik diwakili oleh mineral liat. Hardjowigeno (2007) menyatakan bahwa humus mempunyai KTK yang jauh lebih tinggi dibanding dengan mineral liat.

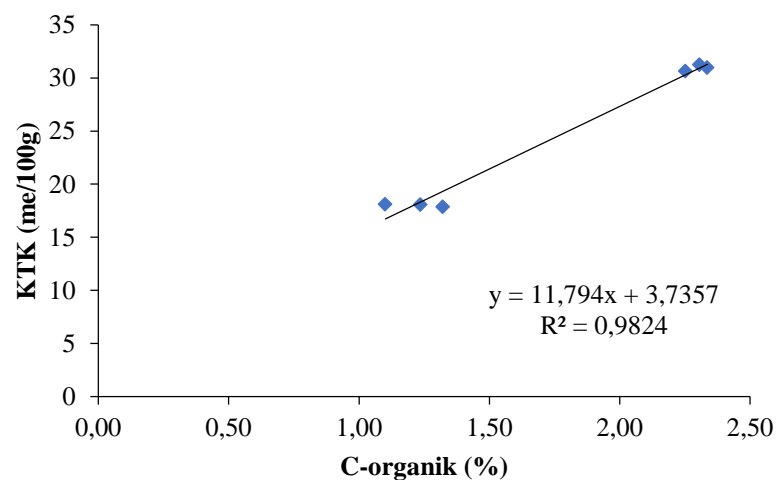
4.2 Pembahasan Umum

Perlakuan penambahan limbah padat kelapa sawit berupa tandan kosong dan serabut menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap peningkatan C-organik, N-total, Kalium (K), dan KTK dalam tanah. Kandungan hara yang terdapat dalam limbah padat kelapa sawit ini diduga mampu meningkatkan kandungan hara di dalam tanah. Menurut Darnosakoro dan Winarna (2001) menyatakan bahwa aplikasi TKKS dengan berbagai dosis tanpa maupun dengan tambahan pupuk

organik secara nyata meningkatkan perubahan sifat kimia yaitu pH, C-organik, N-total, P-tersedia, Kapasitas Tukar Kation dan kejenuhan basa.

Pengaruh dari perlakuan pengaplikasian limbah padat kelapa sawit mampu meningkatkan C-organik tanah juga mampu meningkatkan KTK tanah. Pada perlakuan T1B3 (tekstur tanah lempung berliat + tandan kosong kelapa sawit + serabut) menunjukkan pengaruh hasil terbaik daripada perlakuan lainnya dengan kandungan C-organik dan KTK yang meningkat. Hal tersebut diakibatkan karena pada perlakuan T1B3 bahan organik yang digunakan merupakan campuran dari limbah padat kelapa sawit yakni tandan kosong dan serabut kelapa sawit yang memiliki kandungan C-organik sebesar 43,89 % lebih tinggi dibanding perlakuan lain. Selain itu, tekstur tanah mempengaruhi peningkatan C-organik dalam tanah karena pada tekstur tanah lempung berliat memiliki kapasitas adsorpsi unsur-unsur hara lebih besar bila dibandingkan dengan tekstur tanah lempung berpasir. Tekstur lempung berliat memiliki kemampuan menahan air dan kandungan KTK relatif tinggi (Hardjowigeno, 2003).

Berdasarkan hasil uji korelasi yang dilakukan menunjukkan bahwa hubungan antara C-organik dan kapasitas tukar kation (KTK) memiliki hubungan yang positif dan kuat ($r = 0,99$; $r \text{ tabel} = 0,58$) (Lampiran 9). Hal ini menunjukkan adanya hubungan yang berbanding lurus antara C-organik dan KTK. Dari hasil regresi keduanya (Gambar 7) didapati $R^2 = 0,98$, dimana 98% peningkatan KTK dipengaruhi oleh C-organik.



Gambar 7. Hasil uji regresi C-organik dengan Kapasitas Tukar Kation (KTK)

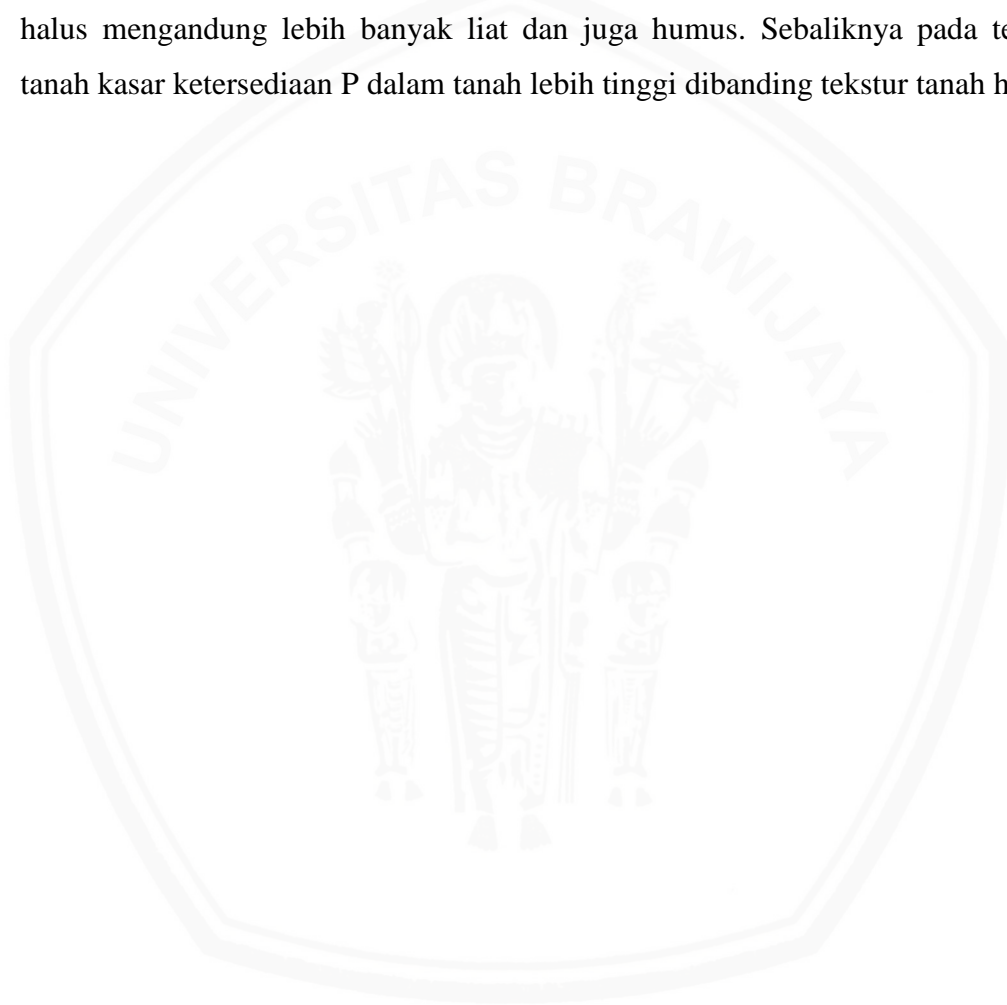
Peningkatan KTK tanah dipengaruhi oleh bahan organik yang mengalami dekomposisi menghasilkan senyawa-senyawa organik sehingga dapat meningkatkan KTK tanah. Peningkatan senyawa organik ditunjukkan oleh peningkatan C-organik. Menurut Hakim *et al.* (1986), KTK tanah sangat dipengaruhi oleh fraksi liat dan kandungan bahan organik tanah. Bahan organik memiliki gugus fungsional yang dapat menyumbangkan muatan negatif dari bahan pada tanah. Muatan negatif dari bahan organik tersebut mampu mempertukarkan kation dalam tanah sehingga mampu meningkatkan kapasitas tukar kation tanah.

Penambahan tandan kosong kelapa sawit memberikan hasil yang berbeda pada N-total tanah yakni pada waktu inkubasi selama 12 minggu mengalami penurunan kandungan N-total dalam tanah. Hal ini terjadi karena kandungan N-total yang berasal dari Ultisol memiliki kadar N yang rendah (Lampiran 5). Selain itu, bahan organik yang ditambahkan yakni tandan kosong kelapa sawit dan serabut memiliki kandungan N rendah berkisar antara 0,57 % - 0,68 %. Menurut Leiwakabessy (2003) dalam proses dekomposisi bahan organik, bentuk NO_3^- dan NH_4^+ tanah diperlukan oleh jasad-jasad renik. Apabila bahan yang dihancurkan kaya akan N dibandingkan kadar C maka praktis tidak ada N yang diimobilisir. Sebaliknya apabila bahan yang akan dihancurkan rendah kadar N-nya dibandingkan dengan kadar C maka akan terjadi imobilisasi N-tanah oleh mikroorganisme tersebut.

Hasil analisis kimia tanah tidak menunjukkan perubahan nilai kriteria pH tanah setelah diberikan perlakuan penambahan tandan kosong kelapa sawit yakni sangat masam. Tidak adanya perubahan kriteria pH tanah karena bahan organik (tandan kosong dan serabut kelapa sawit) yang digunakan belum masak atau masih mengalami proses dekomposisi (Atmojo, 2003). pH yang sangat masam mempengaruhi ketersediaan P di dalam tanah dikarenakan pada pH <5,6 kelarutan Fe dan Al meningkat sehingga memfiksasi dan mengendapkan P larutan membentuk Al-P dan Fe-P sehingga kadar P-tersedia tidak tersedia pada tanah (Hanafiah, 2005).

Pengaruh penambahan tandan kosong dan serabut kelapa sawit terhadap tekstur tanah lempung berliat dan lempung berpasir menunjukkan hasil yang

berbeda begitupula pada parameter sifat kimia tanah. Secara umum bahan organik berkontribusi dalam meningkatkan struktur dan agregasi tanah serta menurunkan *bulk density* dan selanjutnya meningkatkan persentase ruang pori tanah. Pori-pori tanah ini berkaitan dengan aerasi tanah dan status kadar air dalam tanah. Tekstur tanah dibedakan berdasarkan kasar halusnya tanah yakni lempung berliat termasuk ke dalam kategori sedang dan lempung berpasir termasuk kategori agak kasar. Tekstur tanah dapat mempengaruhi sifat kimia tanah yakni semakin halus tekstur tanah maka semakin tinggi kandungan KTK nya karena pada tekstur tanah halus mengandung lebih banyak liat dan juga humus. Sebaliknya pada tekstur tanah kasar ketersediaan P dalam tanah lebih tinggi dibanding tekstur tanah halus.



V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pemberian limbah padat kelapa sawit pada tanah bertekstur lempung berliat dan lempung berpasir berpengaruh nyata terhadap C-organik, N-total, K-dd, dan KTK tanah sehingga mampu meningkatkan ketersediaan hara pada Ultisol. Aplikasi limbah tandan kosong dan serabut kelapa sawit pada tanah lempung berliat (T1B3) meningkatkan C-organik, K-dd, dan KTK tanah secara signifikan pada pengamatan 12 MSI. Nilai C-organik berubah dari 0,545 % menjadi 2,802 %. Sedangkan nilai K-dd tanah yang pada mulanya 0,087 me/100g menjadi 0,219 me/100g. Nilai KTK tanah berubah dari 25,930 me/100g menjadi 30,366 me/100g.

5.2 Saran

Perlu adanya pengomposan tandan kosong kelapa sawit terlebih dahulu sebelum diaplikasikan ke dalam tanah. Hal ini dikarenakan tandan kosong kelapa sawit memiliki C/N ratio >30 sehingga kandungan hara pada tandan kosong kelapa sawit tidak cepat tersedia di dalam tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Abadi, K. 2009. Kondisi Fisik, Kimia, Dan Biologi Tanah Pasca Reklamasi Lahan Agroforestry Di Area Pertambangan Bahan Galian C Kecamatan Astanajapura Kabupaten Cirebon, Provinsi Jawa Barat. Bogor: Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Armada K., A. Lubis, Fauzi. 2017. Perubahan Beberapa Sifat Kimia Ultisol Akibat Pemberian Beberapa Pupuk Organik dan Waktu Inkubasi. Jurnal Agroekoteknologi FP USU, 5(2), 227-283.
- Atmojo, S. W. 2003. Peranan Bahan Organik Terhadap Kesuburan Tanah dan Upaya Pengelolannya. Sebelas Maret University Press. Surakarta.
- Bariyanto, Nelvia, dan Wardati. 2015. Pengaruh Pemberian Kompos Tandan Kelapa Sawit (TKKS) pada Pertumbuhan Bibit Keapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Main-Nursery pada Medium Subsoil Ultisol. Jurnal Faperta, 2(1).
- Briliyantono, B. J. 2012. Mineralisasi Nitrogen dari berbagai Campuran Biomassa Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) pada Tanah Lom berklei dan Lom Berpasir . Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan, 2(2).
- Darmosarkoro dan Rahutomo. 2007. Tandan Kosong Kelapa Sawit sebagai Bahan Pembenh Tanah. Jurnal Lahan dan Pemupukan Kelapa Sawit, 1, 167-180.
- Departemen Pertanian. 2006. Pedoman Pengelolaan Limbah Industri Kelapa Sawit. Subdit Pengelolaan, Dit. Pengelolaan Hasil Pertanian, Ditjen PPHP, Departemen Pertanian Jakarta.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2016. Statistik Perkebunan Indonesia: *Tree Crop Estate Statistic of Indonesia*. Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Dwijoseputro, D. 1980. Pengantar Fisiologi Tumbuhan. PT. Gramedia. Jakarta.
- Eliarti. 2013. Perbaikan Kualitas Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Penambahan Abu Boiler serta Pengaruhnya terhadap Sifat Kimia Podsolik Merah Kuning dan Tanaman Caisim (*Brassica juncea*). Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Endriani dan Yunus. 2001. Perubahan Beberapa Sifat Fisik Tanah Akibat Pemberian Janjang Kosong pada Areal Tanaman Kelapa Sawit PTP VI Jambi. Jambi: Universitas Jambi.
- Firmansyah, A.M. 2010. Teknik Pembuatan Kompos. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian. Kalimantan Tengah.

- Hakim N. M. Y. Nyakpa., A. M. Lubis., S. G. Nugroho., M. R. Saul., M. Diha., G. B. Hong., dan H. H. Bailey. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Lampung: Universitas Lampung.
- Hanafiah, K. A. 2005. Dasar-dasar ilmu tanah. PT Raja Grafindo Persada. Jakarta.
- Hardjowigeno. 2003. Ilmu Tanah. CV Akademika Pressindo. Jakarta.
- Hikmah, U. N. (2009). Kajian Sifat Fisik, Sifat Kimia dan Sifat Biologi Tanah Paska Tambang Galian C Pada Tiga Penutupan Lahan (Studi Kasus Petambangan Pasir (Galian C) di Desa Gumulung Tonggoh, Kecamatan Astanajapura, Kabupaten Cirebon Provinsi Jawa Barat. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Istomo. 1994. Bahan Bacaan Ekologi Hutan : Lingkungan Fisik Ekologi Hutan. Bogor: Laboratorium Ekologi Hutan Departemen Manajemen Hutan Fakultas Kehutanan IPB.
- Indranada, H.K. 1994. Pengelolaan Kesuburan Tanah. Bumi Aksara Jakarta. Jakarta.
- Izzudin. 2012. Perubahan sifat kimia dan biologi tanah pasca kegiatan perambahan di areal hutan pinus reboisasi kabupaten humbang hasundutan provinsi sumatera utara. Bogor: departemen silvikultur fakultas kehutanan institut pertanian bogor.
- Khalid dan Anderson. 2000. Decomposition Processes and Nutrient Release Patterns of Oil Palm Residu. *Journal of Oil Palm Research*, 12, 46-63.
- Leiwakabessy F M. 2003. Kesuburan Tanah. Jurusan Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Manambangtua dan Barri. 2016. Pemanfaatan Tandan Kosong (Tankos) Limbah Kelapa Sawit sebagai Pupuk Organik. *warta penelitian dan pengembangan tanaman industri*, 22(1).
- Mangoensoekardjo dan Semangun. 2005. Manajemen Agribisnis Kelapa Sawit. UGM Press. Yogyakarta.
- Mardiana. 2005. Identifikasi Morfologi dan Sifat Fisik Tanah pada Lahan Pertanaman Ubi Kayu (*Manihot esculenta* Crantz) Monokultur dan Kebun Campuran Di Desa Karang Rejo Lampung Selatan. Skripsi. Universitas Lampung. Bandar Lampung
- Mawardiana, Supardi, dan E. Husen. 2013. Pengaruh Residu Biochar dan Pemupukan NPK Terhadap Sifat Kimia Tanah dan Pertumbuhan Serta Hasil Tanaman Padi Musim Tanam Ketiga. *Jurnal Konservasi Sumberdaya Lahan*, 16-23.

- Mulyani, S. 2016. Peningkatan kualitas kompos tandan kosong kelapa sawit dengan abu boiler dan pengaruhnya terhadap sifat kimia ultisol serta tanaman sawi. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Mustofa, A. 2007. Perubahan Sifat Fisik, kimia, dan biologi tanah pada hutan alam yang diubah menjadi lahan pertanian di kawasan taman nasional Gunung Leuser. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Ningtyas, V. A. dan Lia, Y. A. 2010. Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sisa Media Jamur Merah (*Volvarella volvaceace*) sebagai Pupuk Organik dengan Penambahan Aktivator Effective Microorganisme EM-4. Skripsi. Fakultas Teknik Kimia. Institut Teknologi Surabaya. Surabaya.
- Nurhidayati. 2017. kesuburan dan kesehatan tanah suatu pengantar penilaian kualitas tanah menuju pertanian berkelanjutan. Intimedia. Malang.
- Nuryani, H. dan Handayani, S. 2003. Sifat Kimia Entisol pada Sistem Pertanian Organik. Jurnal Penelitian Pertanian. Vol 10 (2): 63 - 69
- Oksana, M. Irfan, dan M. Ultiyal Huda. 2012. Pengaruh Alih Fungsi Lahan Hutan Menjadi Perkebunan Kelapa Sawit Terhadap Sifat Kimia Tanah. Jurnal Agroteknologi, 3(1), 29-34.
- Olsen, S. dan F.S. Watanabe. 1963. a method to determine a phosphorus absorption maximum of soils as measured by the Langmuir Isotherm. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 21: 144 - 149.
- Prasetyo, B. dan Suriadikarta, H. 2006. Karakteristik, Potensi dan Teknologi Pengelolaan Ultisol untuk Pengembangan Pertanian Lahan Kering di Indonesia. Jurnal Litbang Pertanian, 25(2).
- Rosmarkam, A., dan Yuwono, N. W. 2002. Ilmu Kesuburan Tanah. Kanisius. Yogyakarta.
- Siregar P., Fauzi, Supriadi. 2017. Pengaruh Pemberian Beberapa Sumber Bahan Organik dan Masa Inkubasi Terhadap Beberapa Aspek Kimia Kesuburan Ultisol. 5(2).
- Suntoro. 2001. Pengaruh Residu Penggunaan Bahan Organik, Dolomit dan KCl pada Tanaman Kacang Tanah (*Arachis hypogaeae* L.) pada Oxicept di Jumapolo, Karanganyar, Habitat, Vol XII No 3 September 2001.
- Supriyadi, S. 2009. Status Unsur-Unsur Basa (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , dan Na^+) di Lahan Kering Madura. 2(1).
- Utomo, M., Sudarsono, Rusma, B. Sabrina, T. Lumbanraja, J. dan Wawan. 2016. Ilmu Tanah: Dasar-Dasar dan Pengelolaan (ed) 1. Prenadamedia Group .Jakarta.

- Warsito J., S.M. Sabang, dan K. Mustapa. 2016. Pembuatan Pupuk Organik dari Limbah Tandan Kosong. *Jurnal Akademika Kimia*, 8-15.
- Widiastuti dan Panji, T. 2007. Pemanfaatan Tandan Kosong Kelapa Sawit Sisa Jamur Merang (TKSJ) sebagai Pupuk Organik pada Pembibitan Kelapa Sawit. *Jurnal Perkebunan*, 75(2), 70-79.
- Yeoh, C. Y. Chin, N. L. Tan, and C. S. Ooi. 2012. Industrial scale co-composting of palm oil mil waste with starter cultures. *Journal of Food, Agriculture and Environment*. 10: 771-775.
- Yunindanova M.B. 2009. Tingkat Pematangan Kompos Tandan Kosong Kelapa Sawit dan Penggunaan Berbagai Jenis Mulsa terhadap Produksi Tanaman Tomat (*Lycopersicon esculentum* Mill.) dan Cabai (*Capsicum annum* L.). Bogor: Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.

