

C-organik Tanah di Perkebunan Kelapa Sawit Sumatera Utara: Status dan Hubungan dengan Beberapa Sifat Kimia Tanah

Soil Organic Carbon in North Sumatra Oil Palm Plantation: Status and Relation to Some Soil Chemical Properties

Rana Farrasati*, Iput Pradiko, Suroso Rahutomo, Edy Sigit Sutarta, Heri Santoso, Fandi Hidayat

Peneliti Ilmu Tanah dan Agronomi Pusat Penelitian Kelapa Sawit Jl. Brigjen Katamso No. 51, Medan 20158, Sumatera Utara

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat artikel:

Diterima: 16 Juli 2019
Direview: 8 Agustus 2019
Disetujui: 19 November 2019

Kata kunci:

Kesuburan tanah
Biogeokimia tanah
Inceptisols
Ultisols

Keywords:

Soil fertility
Soil biogeochemical
Inceptisols
Ultisols

Direview oleh:

Ai Dariah, Wiwik Hartatik

Abstrak. C-organik tanah pada perkebunan kelapa sawit dapat dijadikan salah satu parameter keberlanjutan ekosistem dan kesuburan tanah. Perubahan sifat kimia tanah yang dinamis tidak lepas dari proses biogeokimia dari mineralisasi dan pelapukan bahan organik menjadi C-organik tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji status C-organik tanah serta kaitannya dengan sifat kimia tanah lainnya dalam kurun waktu 5 tahun dari tahun 2009 sampai tahun 2014 di perkebunan kelapa sawit Sumatera Utara, dengan jenis tanah Inceptisols dan Ultisols. Metode pengambilan sampel menggunakan *purposive random sampling*. Data dianalisis menggunakan uji komparatif *T- paired* antara kebun yang diamati pada tahun 2009 dan 2014 untuk melihat perubahan nilai C-organik, dan parameter sifat kimia tanah. Uji korelasi dilakukan untuk melihat keterkaitan antara C-organik dengan parameter sifat kimia tanah lainnya, yaitu kadar N, kejenuhan Al, pH, dan kapasitas tukar kation (KTK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari 25 kebun pengamatan, nilai C-organik dari 3 kebun meningkat dan 6 kebun menurun secara signifikan, sedangkan 16 lainnya tidak berbeda nyata. Dalam periode 5 tahun, kandungan C-organik tanah cenderung fluktuatif namun tetap berada pada kelas yang sama dengan kisaran rendah hingga sedang (<1,75%). Peningkatan nilai C-organik hanya berkorelasi linier dan nyata dengan N pada tanah Inceptisols ($r = 0,392$). Sedangkan, pada tanah Ultisols, peningkatan C-organik tanah secara nyata diikuti dengan penurunan nilai pH ($r = -0,141$).

Abstract. Soil organic carbon (SOC) is one of the parameter that reflects ecosystem sustainability and soil fertility. Dynamic changes of soil chemical properties influence biogeochemical processes from mineralization and decomposition of organic matter into soil organic carbon (SOC). This study aims to determine the SOC status and its relation to soil chemical properties within 5 years (2009 - 2014) in North Sumatra Oil Palm Plantation. Sampling were carried out with purposive random sampling method. Data analysis was carried out using paired t-test to evaluate SOC status. Regression test was also done to understand the relation between SOC with soil chemical properties, namely C/N ratio, N, pH and cation exchange capacity (CEC). The results showed that among 25 observation estates, SOC of 3 estates increased and of 6 estates decreased significantly, while 16 others remain the same. Despite the SOC fluctuation, the status in 5 years period did not change and still classified as a low to medium level (< 1.75%). Based on this study, the SOC is significantly enhancing N content (%) on Inceptisol ($r = 0.392$). Meanwhile, the increase of SOC in Ultisols correlated with the decrease of pH ($r = -0.141$).

Pendahuluan

Karbon (C) organik tanah merupakan komponen fundamental dalam siklus karbon global untuk mendukung keberlanjutan ekosistem terrestrial (Agus 2013; Siringoringo 2014). C-organik tanah terbentuk melalui beberapa tahapan dekomposisi bahan organik. Status C-organik tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor eksternal seperti jenis tanah, curah hujan, suhu, masukan bahan organik dari biomasa di atas tanah, proses antropogenik, kegiatan pengelolaan tanah, dan kandungan CO₂ di atmosfer (Hairiah *et al.* 2001; Hairiah *et al.* 2011;

Yulnafatmawita *et al.* 2011). Perubahan status C-organik tanah melalui proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik tanah dilaporkan memiliki keterkaitan dengan sifat-sifat tanah seperti tekstur (Augustin dan Cihacek 2016), pH, kation logam dalam tanah, KTK (kapasitas tukar kation) (Solly *et al.* 2019), dan kandungan nitrogen (Gärdenäs *et al.* 2011).

C-organik berperan penting dalam mendukung pertanian berkelanjutan terutama sebagai indikator basis kesuburan tanah, menjaga ketersediaan hara, perbaikan sifat fisik tanah, serta menjaga kelangsungan hidup mikroorganisme tanah (Smith *et al.* 2013). Siklus hara dan

* Corresponding author: rana.farrasati@gmail.com

ketersediaan unsur hara esensial bagi pertumbuhan tanaman seperti N, P, S, Ca, Mg, Zn dan Fe juga memiliki keterkaitan dengan kandungan karbon sebagai *reservoir* hara dari hasil dekomposisi bahan organik (Hairiah *et al.* 2000; Powlson *et al.* 2015). Selain berperan dalam meningkatkan KTK melalui aktivasi gugus karboksil, karbon merupakan sumber energi bagi organisme tanah dalam membentuk proses biologis yang menjadi faktor penentu dari proses transformasi hara (Powlson *et al.* 2015; McCauley *et al.* 2017). Tanah yang telah dimanfaatkan untuk budidaya pertanian cenderung memiliki nilai karbon yang lebih rendah akibat penggunaan pupuk anorganik dan pestisida berlebihan, pengolahan tanah, serta kehilangan biomassa karena terangkut panen (Don *et al.* 2011; Guillaume *et al.* 2016).

Di perkebunan kelapa sawit, degradasi kandungan C-organik tanah juga telah dilaporkan sebelumnya, umumnya terjadi pada awal penanaman. Namun, melalui penerapan kultur teknis yang tepat, nilai C-organik cenderung meningkat seiring pertambahan umur tanaman (Haron *et al.* 1998; Khasanah *et al.* 2015; Wisdom *et al.* 2017; Rahman *et al.* 2018).

Upaya untuk menekan laju penurunan C-organik tanah di perkebunan kelapa sawit telah dilakukan melalui penerapan *good management practices* (Ab Rahman *et al.* 2013; Tohiruddin dan Foster 2013; Tao *et al.* 2017). Meskipun demikian, upaya ini biasanya belum dilakukan secara optimal dan berkesinambungan sehingga C-organik tanah di perkebunan kelapa sawit terus mengalami penurunan seiring pertambahan umur tanaman seperti dilaporkan oleh (Guillaume *et al.* 2016). Laju penurunan C-organik yang tidak terkontrol dan berlangsung terus-menerus dapat berakibat pada penurunan daya dukung tanah terhadap tanaman (Goh *et al.* 2017; Widiastuti *et al.* 2018).

Khusus untuk wilayah Sumatera Utara, perkebunan kelapa sawit telah dibuka sejak awal tahun 1900-an, sehingga saat ini sebagian besar tanaman sawit di wilayah ini merupakan generasi kedua atau ketiga dan sebagian lainnya merupakan generasi keempat. Meskipun C-organik merupakan salah satu indikator penting dalam penentuan kesehatan tanah, kesuburan tanah, dan keberlanjutan lahan (Johnston *et al.* 2009), namun informasi mengenai status C-organik tanah dan hubungannya dengan karakteristik kimia tanah di perkebunan kelapa sawit Sumatera Utara yang telah memasuki beberapa generasi belum banyak dilaporkan. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui informasi status C-organik tanah di perkebunan kelapa sawit Sumatera Utara pada selang waktu 5 tahun. Penelitian ini juga menganalisis hubungan antara C-

organik dengan beberapa sifat kimia tanah lainnya untuk mengetahui dalam waktu 5 tahun tersebut apakah C-organik turut berpengaruh pada perubahan sifat kimia tanah pada kebun yang diamati.

Bahan dan Metode

Sampel tanah untuk penelitian ini diambil dari 25 perkebunan dengan masing - masing kebun dengan sampling minimal 5% dari total jumlah blok. Lokasi pengamatan tersebar pada perkebunan besar nasional yang tersebar di Kabupaten Asahan (02°49'02.8" N 99°38'02.8" E), Labuhan Batu (02°20'38.3" N 100°10'13.1" E), dan Simalungun (02°58'41.3" N 99°16'42.8" E), Provinsi Sumatera Utara. Berdasarkan Peta Survei Tanah dan Kesesuaian Lahan oleh PPKS (1999), jenis tanah di lokasi penelitian adalah 16 kebun dengan jenis tanah Inceptisol (B, M, O, P, Q, W, AA, AC, AD, AH, AK, AL, AM, AO, AP, dan AR) dan 9 kebun Ultisol (V, AN, AQ, C, E, I, AJ, F, dan D). Topografi kebun umumnya datar hingga bergelombang dengan ketinggian tempat antara 115 - 369 mdpl. Berdasarkan catatan data iklim dari seluruh kebun, rerata curah hujan adalah 2.048 mm/tahun, yaitu berada pada kisaran optimum curah hujan untuk kelapa sawit antara 1.750-3.000 mm (Corley dan Tinker 2016). Tanaman kelapa sawit di kebun-kebun tersebut merupakan tanaman generasi ketiga atau lebih dengan kisaran umur 0-29 tahun, sehingga budidaya kelapa sawit di lokasi penelitian umumnya sudah dilakukan selama lebih dari 75 tahun. Kultur teknis yang diterapkan untuk menambah asupan bahan organik yaitu *pruning* pelepah dan aplikasi tandan kosong. Meskipun demikian, aplikasi tandan kosong sesuai standar (25 ton/ha/tahun) cenderung tidak merata, dan tidak kontinyu.

Pengambilan sampel tanah dilakukan dua kali (tahun 2009 dan 2014) menggunakan metode *purposive random sampling*, yaitu dengan menentukan beberapa blok perwakilan dari setiap kebun. Sebanyak kurang lebih 2 kg sampel tanah diambil di piringan pohon menggunakan bor tanah pada kedalaman 0-20 cm dari minimal 5 (lima) titik pengamatan yang mewakili kondisi blok. Sampel tanah tersebut dikompositkan hingga diperoleh sampel tanah perwakilan untuk satu blok. Selanjutnya, sampel dikirim ke laboratorium Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) untuk analisis C-organik tanah (metode Walkley & Black), pH (pH meter), N total (metode Kjeldahl), kapasitas tukar kation (KTK) (metode destilasi, Ammonium asetat pada pH 7).

Analisis statistik yang dilakukan terhadap data hasil laboratorium adalah uji komparatif *T paired* dengan menggunakan *software* SPSS pada data kandungan C-organik 25 kebun di tahun 2009 dan 2014 untuk mengetahui perubahan dari kandungan C-organik dari masing-masing jenis tanah pada kebun pengamatan. Selain itu, dilakukan juga uji korelasi untuk mengetahui keterkaitan dan hubungan antara C-organik dengan beberapa karakteristik kimia tanah seperti pH, kadar N, C/N, serta KTK tanah. Interpretasi hasil korelasi didasarkan pada klasifikasi kelas korelasi oleh Sugiyono (2007) yaitu kelas sangat lemah (0,000-0,199), lemah (0,200-0,399), sedang (0,400-0,599), kuat (0,600-0,799), dan sangat kuat (0,800-1,000).

Hasil dan Pembahasan

Sifat Kimia Tanah

Hasil analisis terhadap sampel tanah dalam penelitian ini (Tabel 1) menunjukkan bahwa secara keseluruhan dalam kurun waktu 5 tahun, pH tergolong masam hingga netral (4,31-6,9), C-organik rendah hingga sedang (0,63%-1,75%), kandungan N rendah (0,08%-0,21%), kejenuhan Al rendah hingga tinggi (<70%), serta KTK rendah (4,87-12,23 me/100 g). Selanjutnya, perubahan sifat kimia tanah pada 25 kebun dengan jenis tanah Inceptisol dan Ultisol memiliki pola beragam. Dalam periode 5 tahun, 16 kebun dengan jenis tanah Inceptisol, 62,5% dari total kebun mengalami perubahan nilai pH, 37,5% kebun memiliki kandungan N yang berbeda nyata, 25% kebun memiliki kandungan KTK yang berbeda, serta 50% kebun mengalami perubahan kejenuhan Aluminium (Al). Sedangkan, pada 9 kebun dengan jenis tanah Ultisol, 55,5% kebun mengalami peningkatan pH, 66,6% kebun mengalami perubahan kandungan N tanah, 77,7% tidak mengalami perubahan KTK, dan 44,4% kebun memiliki kejenuhan Al yang berbeda. Nilai C-organik sebagian besar tergolong rendah karena kurang dari 1,25% (Santoso dan Wiratmoko, 2010). Rerata nilai C-organik dalam penelitian ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian (Tao *et al.* 2017) dan Leni *et al.* (2017) di Riau dan Sumatera Utara yang melaporkan bahwa kandungan C-organik di bawah tegakan kelapa sawit masing-masing bernilai 1,3-2,9% dan 1,3-1,7%, meskipun kedua laporan tersebut tidak menyebutkan generasi tanaman kelapa sawit yang dibudidayakan.

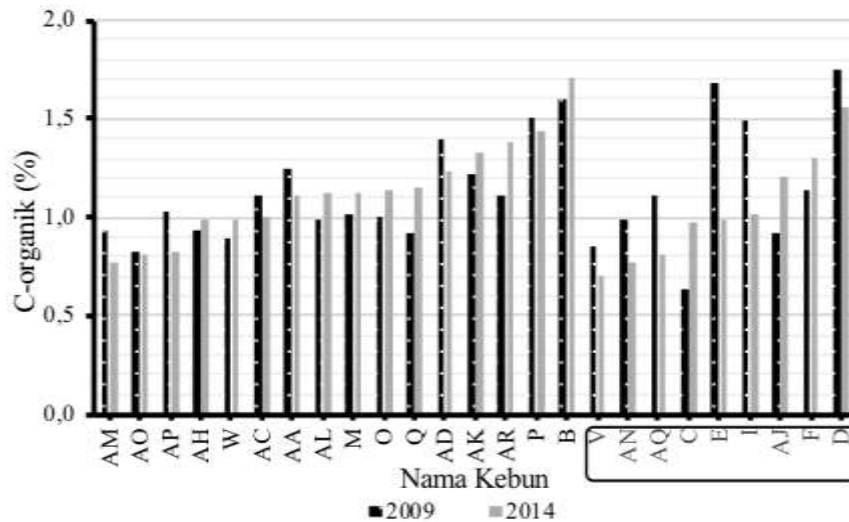
Rendahnya nilai KTK pada penelitian ini sesuai dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa umumnya tanah masam pada lahan kering di wilayah

tropika basah seperti di Indonesia memiliki faktor pembatas berupa rendahnya KTK (Prasetyo *et al.* 2001 ; Prasetyo dan Suriadikarta 2006; Soemarno 2013). KTK menggambarkan kemampuan tanah menyerap dan mempertukarkan kation yang besarnya dipengaruhi oleh kandungan C-organik, pH, dan tipe liat (Hartati 2016; McCauley *et al.* 2017; Solly *et al.* 2019). Nilai KTK yang rendah pada sampel tanah di penelitian ini berkaitan dengan nilai C-organik yang rendah. Selain itu, tipe liat pada tanah-tanah di wilayah Indonesia yang umumnya adalah *low activity clay*. Asumsi adanya kandungan liat dengan aktivitas rendah tersebut berkaitan dengan tingginya kandungan fraksi oksida dan hidroksida Fe serta Al dengan muatan negatif yang rendah (Sufardi *et al.* 2017). Sementara itu, rendahnya nilai N diduga terkait dengan rendahnya nilai C-organik yang linier dengan penurunan kandungan bahan organik sebagai sumber N dalam tanah (Hayadi *et al.* 2014). Hardjowigeno (2010) menambahkan bahwa sejumlah N kemungkinan hilang karena tercuci, terikat mineral liat jenis *illit*, diserap tanaman, dan mikroorganisme sehingga dapat menyebabkan penurunan nilai N.

Status C-Organik Tanah

Trend perubahan status C-organik tanah pada berbagai kebun yang diamati dalam penelitian ini dengan rentang waktu lima tahun disajikan pada Gambar 1. Secara total, rerata nilai C-organik dari 25 kebun pada tanah Inceptisol dan Ultisol ditahun 2009 dan 2014 tidak berbeda nyata. Meskipun terjadi penurunan, namun status C-organik tetap mampu dipertahankan dalam status rendah hingga sedang (<1,75%) yang diduga karena rentang waktu pengambilan sampel yang relatif pendek (5 tahun). Hal ini, berbeda dengan hasil penelitian (Rahman *et al.* 2018) yang menunjukkan bahwa pada 49 tahun pasca alih guna lahan, kandungan C-organik perkebunan kelapa sawit meningkat hingga 26% dari 20 tahun sebelumnya. Selain itu, kajian Haron *et al.* (1998) juga mengatakan bahwa penambahan nilai C-organik tanah diketahui meningkat seiring pertambahan umur tanaman dari 0,82% pada umur 5 tahun menjadi 2,21% setelah berumur 20 tahun.

Hasil *paired t-test* menunjukkan bahwa antara kandungan C-organik pada tahun 2009 dan 2014 dari total 16 kebun dengan jenis tanah Inceptisol, nilai C-organik nyata meningkat ($p < 0,05$) di 1 kebun dan nyata menurun ($p < 0,05$) di 1 kebun, serta tidak berbeda nyata pada 14 kebun lainnya. Sedangkan, pada 9 kebun dengan jenis tanah Ultisol, C-organik pada 2 kebun nyata meningkat ($p < 0,05$) dan 5 kebun nyata menurun ($p < 0,05$), serta 2 kebun tidak beda nyata. Sehingga dapat dikatakan dari 25



Gambar 1. Perubahan status karbon organik tanah pada perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara (keterangan: = kebun dengan tanah Ultisol)

Figure 1. Status change of soil organic carbon in oil palm plantations at North Sumatra (note: = plantations with soil type of Ultisol)

kebun yang diamati kandungan C-organik cenderung cukup stabil dalam periode 5 tahun. Peningkatan maupun penurunan kandungan C-organik yang nyata tersebut tidak merubah status C-organik tanah, dimana masih tergolong rendah hingga sedang. Perubahan ini diduga terkait dengan tindakan kultur teknis yang diaplikasikan di lapangan selama kurun waktu 5 tahun tersebut.

Pada penelitian terdahulu, aplikasi *good management practices* (GMP) hingga *best management practices* (BMP) dilaporkan mampu memberikan dampak positif terhadap peningkatan C-organik tanah. Penelitian Khasanah *et al.* (2015) melaporkan bahwa penerapan GMP pada kebun kelapa sawit pada satu generasi tanam menunjukkan bahwa area piringan, antar piringan, dan gawangan mati justru mampu mempertahankan dan meningkatkan nilai C-organik hingga 18%. Pauli *et al.* (2014), turut mengkaji C-organik pada kebun dengan penerapan BMP meningkat hingga 22,1% dibanding tanpa BMP.

Hubungan C-organik dengan Kadar N Tanah

Setiap bahan organik yang mengalami proses dekomposisi lanjutan dan mineralisasi mempengaruhi komposisi C dan N dalam tanah (Powlson *et al.* 2015; Wisdom *et al.* 2017). Hasil analisis korelasi menunjukkan secara individual kadar C-organik berpengaruh nyata terhadap peningkatan kadar N pada jenis tanah Inceptisol, dan tidak berpengaruh nyata pada jenis tanah Ultisol. Interaksi positif C-organik dengan kadar N (nitrogen) dalam tanah Inceptisol ditunjukkan dengan nilai $r = 0.392$

dan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,153. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan nilai C-organik akan diikuti dengan penambahan kandungan N sebesar 15,3% pada sampel tanah dalam penelitian ini.

Tabel 1. Korelasi C-organik dengan beberapa sifat kimia tanah

Table 1. Correlation of Soil organic carbon with some soil chemical properties

Variabel pengamatan	C-organik	
	Ultisol	Inceptisol
pH	-0,141*	0,017
N	-0,086	0,392**
KTK	0,060	-0,008
Kejenuhan Al	0,006	0,021

Hasil ini sejalan dengan penelitian Shaheen dan Matien (2016) yang menunjukkan adanya hubungan linier antara peningkatan kandungan bahan organik tanah dengan total N pada tanah Inceptisol. Bahan organik memiliki kandungan N yang dapat dilepaskan ke tanah melalui proses dekomposisi, amonifikasi, amonifikasi, dan nitrifikasi dalam bentuk protein dan asam amino yang mengalami penguraian menjadi ammonium (NH_4^+) atau nitrat (NO_3^-) yang melibatkan berbagai mikroorganisme (Hasanudin 2003; Hardjowigeno 2010; Agus 2013; Nurida dan Jubaedah 2014; FAO 2017). Powlson *et al.* (2015) memperkirakan bahwa dekomposisi bahan organik dengan C sebesar 26.000 kg/ha akan melepaskan 2.360 kg N/ha,

330 kg S/ha, dan 200 kg P/ha ke tanah yang dapat dipergunakan oleh tanaman untuk memenuhi kebutuhan hara.

Hubungan C-organik dengan pH Tanah dan Kejenuhan Al

Berdasarkan hasil uji korelasi antara C-organik tanah dengan pH (Tabel 1) diketahui bahwa interaksi negatif nyata terlihat pada jenis tanah Ultisol ($r = -0,141$) dan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,020. Rendahnya pengaruh C-organik terhadap penurunan pH diduga disebabkan oleh proses dekomposisi fraksi labil bahan organik yang belum termineralisasi dan menghasilkan asam-asam organik yang mempengaruhi derajat kemasaman tanah dalam porsi yang sedikit. Mekanisme biogeokimia dalam tanah tersebut juga berkaitan dengan kultur teknis yang diterapkan oleh pihak manajemen kebun dalam aplikasi bahan organik. Hal ini didukung oleh pernyataan Hakim (2006), bahwa nilai pH dapat menurun apabila bahan organik belum terdekomposisi secara sempurna, dan akan meningkat bila bahan organik telah terdekomposisi sempurna.

Keterkaitan antara kadar karbon organik tanah dengan pH berbeda-beda pada setiap jenis tanah. Pada penelitian ini, tanah Inceptisol dan Ultisol, tergolong dalam tanah masam (pH rendah). Nilai pH yang rendah akan berpengaruh terhadap meningkatnya kejenuhan Al didalam tanah, yang lebih lanjut akan berdampak pada kestabilan retensi hara. Hal ini terlihat pada penelitian ini, dimana tanah pada lokasi pengamatan dimana tanah Inceptisol dan Ultisol dengan pH rendah akan diikuti dengan tingginya kejenuhan Al dalam tanah. Pada penelitian ini interaksi antara C-organik dengan kejenuhan Al tidak signifikan baik pada tanah Inceptisol ataupun Ultisol ($r = 0,021$ dan $0,006$). Hal ini diduga karena proses dekomposisi bahan organik pada kebun yang diamati belum sempurna sehingga belum optimal dalam mereduksi kejenuhan Al dalam tanah.

Teknik penambahan bahan organik yang kontinyu dan lebih cepat terdekomposisi merupakan salah satu solusi yang dapat diterapkan karena mampu meningkatkan pH tanah sehingga kesuburan tanah meningkat. Asupan bahan organik tersebut akan mengalami proses dekomposisi atau *turnover* menghasilkan senyawa asam organik (asam humat dan asam fulvat) yang dapat mengikat, dan mereduksi kation logam seperti Al, Fe dan Mn pada tanah masam sehingga dapat memperbaiki kondisi kemasaman tanah melalui penurunan produksi ion H^+ dari Al yang terhidrolisis. Disisi lain, aktivitasi ion OH^- yang mampu menetralisasi konsentrasi ion H^+ akan meningkat melalui

gugus hidroksil (OH^-) dan karboksil ($-COOH$) yang dimiliki oleh asam organik (Soepardi *et al.* 1983 dan Hairiah *et al.* 2002 dalam Monde *et al.* 2008; Wahyudi 2009; McCauley *et al.*, 2017). Bakar *et al.* (2011) dan Comte *et al.* (2013) turut menambahkan bahwa aplikasi bahan organik seperti tandan kosong pada perkebunan kelapa sawit mampu mengurangi pengasaman tanah melalui pelepasan kation basa sekaligus meretensi hara tanah. Oleh karena itu, penambahan bahan organik akan sangat bermanfaat bagi perbaikan kesuburan tanah masam dengan konsentrasi kejenuhan Al dan Fe yang tinggi seperti tanah Ultisol (Prasetyo dan Suriadikarta 2006).

Hubungan C-organik dengan Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Pada penelitian ini, hasil analisis korelasi menunjukkan tidak terdapat hubungan yang signifikan antara C-organik dan KTK tanah baik pada jenis tanah Inceptisol dan Ultisol ($r = -0,008$ dan $0,062$). Umumnya pada berbagai penelitian terdahulu, nilai C-organik memiliki korelasi positif yang cukup kuat dengan KTK tanah namun keterkaitan tersebut cenderung kompleks dan dipengaruhi oleh variabel lain seperti pH dan tekstur tanah (Krull *et al.* 2009). Seperti hasil penelitian terdahulu dari Solly *et al.* (2019) menunjukkan adanya korelasi yang kuat antara kandungan karbon dengan KTK pada tanah mineral dengan kedalaman 0-30 cm serta penelitian Darlita *et al.* (2017) yang melaporkan bahwa bahan organik tanah dan kandungan mineral liat berperan dalam meningkatkan agregasi tanah dan KTK.

Namun, dalam penelitian ini korelasi KTK dengan C-organik pada dua jenis tanah yang diamati tidak signifikan. Pengaruh yang sangat lemah dari C-organik dengan KTK diduga terjadi karena rendahnya nilai C-organik tanah, pH yang berkisar antara 4,31-6,9. Selain itu, jarak waktu pengambilan sampel yang relatif singkat juga belum dapat menunjukkan perubahan yang begitu signifikan pada beberapa parameter sifat kimia tanah. Hal tersebut didukung oleh pernyataan Hallsworth dan Wilkinson (1958) bahwa bahan organik tanah cenderung tidak dapat mempengaruhi peningkatan KTK dengan optimal pada kondisi pH <5,55. Murphy (2015) dan Fang *et al.* (2017) menambahkan rendahnya nilai C-organik (<1 %) dan minimnya kandungan liat akan berdampak pada nilai KTK karena fraksi bahan organik tanah yang memiliki muatan negatif semakin sedikit. Hal tersebut berdampak pada lemahnya kompleks humus dengan kation basa yang dapat ditukar serta kompleks humus yang tidak stabil. Selain itu, disosiasi gugus fungsional seperti karboksil dan fenolik hidroksil menghambat proses pertukaran kation

dalam tanah sehingga KTK cenderung tidak mengalami peningkatan. Prasetyo dan Suharta (2004) melaporkan bahwa Ultisol dan sebagian Inceptisol termasuk dalam kategori liat dengan aktivitas lemah (*low activity clay*) dari mineral tipe 1:1 (kaolinit, haolisit) dengan kemampuan mempertukarkan kation rendah. Oleh karena itu, diduga tanah pada kebun yang diamati tergolong dalam *low activity clay* yang menyebabkan perubahan KTK yang cenderung stagnan dalam periode 5 tahun. Lebih lanjut, rendahnya KTK akan mempengaruhi kemampuan tanah dalam meretensi dan menyediakan hara bagi tanaman (Powlson *et al.* 2015).

Kondisi Kultur Teknis pada Kebun yang Diamati

Kultur teknis yang diterapkan pada kebun yang diamati berupa *pruning*, penanaman *cover crop* (*mucuna bracteata*), aplikasi tandan kosong, dan bangunan konservasi tanah dan air. Sumber C-organik dari 25 kebun berasal dari *pruning* dan aplikasi tandan kosong. Namun demikian, pada beberapa kebun pengamatan *pruning* cenderung tidak terkontrol dan tidak sesuai standar, begitu juga mutu aplikasi tandan kosong yang rendah, tidak kontinyu, kurang merata, dan diaplikasikan pada blok-blok tertentu saja (terutama yang dekat dengan Pabrik Kelapa Sawit), sesuai urgensi dan ketersediaan pasokan tandan kosong di lapangan. Sehingga, perbaikan kesuburan dan kesehatan tanah cenderung tidak optimal karena asupan bahan organik yang kurang teratur.

Pemeliharaan dan peningkatan C-organik tanah sangat diperlukan untuk menjaga kualitas tanah dalam mendukung pertumbuhan tanaman, terutama pada tanah-tanah masam seperti Inceptisol dan Ultisol (Sufardi *et al.* 2017). Seperti telah dinyatakan dalam hasil penelitian ini serta beberapa penelitian lain (Gärdenäs *et al.* 2011; McCauley *et al.* 2017; Solly *et al.* 2019). C-organik tanah juga menentukan sifat kimia tanah lainnya seperti pH, KTK, kejenuhan Al, dan kandungan N. Berbagai biomassa dari organ tanaman kelapa sawit seperti pelepah dan tandan kosong maupun limbah pabrik kelapa sawit merupakan sumber bahan organik di lingkungan perkebunan kelapa sawit yang dapat diaplikasikan ke lapangan untuk menambah asupan C-organik tanah (Ginting dan Rahutomo 2008; Ab Rahman *et al.* 2013; Tohiruddin dan Foster 2013; Moradi *et al.* 2015; Tao *et al.* 2017).

Dalam upaya mempertahankan dan meningkatkan C-organik tanah, perlu diperhatikan karakter masing-masing sumber biomassa sebelum aplikasi di lapangan. Sebagai contoh, tandan kosong memiliki karakter proses dekomposisi hingga 8 bulan karena tingginya kandungan

hemiselulosa dan lignin (Zaharah dan Lim 2000) serta rasio C/N antara 45-55 (Ginting dan Rahutomo 2008). Dengan karakter ini, aplikasi tandan kosong kurang tepat jika ditujukan untuk mengembalikan C-organik tanah dalam jumlah besar dan waktu yang singkat, juga pada tanah dengan kandungan C-organik dari akumulasi tahun-tahun sebelumnya telah digunakan sebagai sumber energi mikroorganisme tanah (Powlson *et al.* 2001; FAO 2017).

Beberapa alternatif lain dalam upaya mempertahankan C-organik tanah di perkebunan kelapa sawit adalah sistem pengendalian gulma dan bangunan konservasi tanah dan air yang tepat. Sistem pengendalian gulma yang tepat seperti tidak mengaplikasikan herbisida dengan sistem *blanket* dapat meningkatkan jumlah tanaman bawah yang bermanfaat sebagai tambahan bahan organik tanah (Ashton-Butt *et al.* 2018) sekaligus mampu mengurangi pencucian dan *run-off* (Agus 2013) dan Moradi *et al.* (2015). Bangunan konservasi tanah dan air seperti rorak dan guludan pada kebun pengamatan sebaiknya diperbaiki sesuai standar karena akan efektif untuk menekan kehilangan C-organik yang terakumulasi pada lapisan *top soil* akibat erosi (Murti Laksono *et al.* 2008).

Kesimpulan

Dalam jangka waktu 5 tahun, kandungan C-organik tanah dari 25 kebun yang diamati memiliki *trend* perubahan C-organik yang beragam. Dari 16 kebun dengan jenis tanah Inceptisol diketahui bahwa kandungan C-organik dari 6,25% kebun mengalami peningkatan, 6,25% kebun mengalami penurunan, dan 87,5% tetap stabil. Selanjutnya, total 9 kebun dengan jenis tanah Ultisol, 22,2% kebun mengalami peningkatan, 55,5% kebun mengalami penurunan, dan 22,2% tetap stabil. Namun demikian, secara keseluruhan kandungan C-organik tanah dari 25 kebun pada tanah Inceptisol dan Ultisol yang diamati tidak berubah secara signifikan dan tergolong dalam kategori rendah hingga sedang (<1.75%). Peningkatan nilai C-organik diketahui memiliki korelasi yang signifikan dan positif terhadap beberapa parameter sifat kimia tanah yaitu kadar N pada kebun dengan jenis tanah Inceptisol dan pH pada kebun dengan jenis tanah Ultisol. Selain kandungan *low activity clay* pada tanah Inceptisol dan Ultisol, tidak ditemukannya hubungan yang signifikan antara perubahan C-organik dengan sifat kimia tanah lainnya juga dikarenakan proses biogeokimia yang kurang optimum dalam waktu pengambilan sampel yang relatif singkat (5 tahun). Kultur teknis yang dilakukan di lokasi penelitian seperti masukan bahan organik dari *pruning* pelepah dan aplikasi tandan kosong belum mampu

secara optimal untuk meningkatkan kadar C-organik tanah, namun berhasil mempertahankan statusnya dalam kurun waktu 5 tahun. Oleh karena itu, diperlukan upaya kontinyu dari pengelola perkebunan untuk menjaga dan meningkatkan ketersediaan karbon organik melalui penerapan *best management practices* seperti aplikasi bahan organik tanah (tandan kosong, limbah sisa pabrik, pelepah kelapa sawit) yang dapat dikombinasikan dengan teknik konservasi tanah dan air secara disiplin.

Daftar Pustaka

- Ab Rahman Z, Abdul HN, Hawari Y, Hashim Z, Tan D. 2013. Zero waste technology for palm oil mills (pomed. MPOB Information Series, (June).
- Agus F. 2013. Konservasi tanah dan karbon untuk mitigasi perubahan iklim mendukung keberlanjutan pembangunan pertanian. *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 6(1): 23–33.
- Ashton-Butt A, Aryawan AAK, Hood ASC, Naim M, Purnomo D, Suhardi, Wahyuningsih R, Willcock S, Poppy GM, Caliman JP, Turner EC, Foster WA, Peh KSH, Snaddon JL. 2018. Understory vegetation in oil palm plantations benefits soil biodiversity and decomposition rates. *Frontiers in Forests and Global Change*, 1(December). <https://doi.org/10.3389/ffgc.2018.00010>.
- Augustin C, Cihacek LJ. 2016. Relationships between soil carbon and soil texture in the Northern Great Plains. *Soil Science*. 181(8): 386–392. <https://doi.org/10.1097/SS.0000000000000173>.
- Bakar RA, Darus SZ, Kulaseharan S, Jamaluddin N. 2011. Effects of ten year application of empty fruit bunches in an oil palm plantation on soil chemical properties. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 89(3): 341–349. <https://doi.org/10.1007/s10705-010-9398-9>.
- Comte I, Colin F, Grünberger O, Follain S, Whalen JK, Caliman JP. 2013. Landscape-scale assessment of soil response to long-term organic and mineral fertilizer application in an industrial oil palm plantation, Indonesia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 169: 58–68. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2013.02.010>.
- Corley RHV, dan Tinker PB. 2016. *The Oil Palm*, Fifth edition. Wiley Blackwell Publishing, 639 p.
- Darlita RR, Joy B, Sudirja R. 2017. Analisis beberapa sifat kimia tanah terhadap peningkatan produksi kelapa sawit pada tanah pasir di perkebunan kelapa sawit Selangkun. *Agrikultura*. 28(1): 15–20.
- Don A, Schumacher J, Freibauer A. 2011. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks - a meta-analysis. *Global Change Biology*. 17(4): 1658–1670. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02336.x>.
- Fang K, Kou D, Wang G, Chen L, Ding J, Li F, Yang G, Qin S, Liu L, Zhang Q, Yang Y. 2017. Decreased soil cation exchange capacity across Northern China's grasslands over the last three decades. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 122(11): 3088–3097. <https://doi.org/10.1002/2017JG003968>
- FAO. 2017. *Soil Organic Carbon: the hidden potential*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy.
- Gärdenäs AI, Ågren GI, Bird JA, Clarholm M, Hallin S, Ineson P, Kätterer T, Knicker H, Nilsson SI, Näsholm T, Ogle S, Paustian K, Persson T, Stendahl J. 2011. Knowledge gaps in soil carbon and nitrogen interactions - From molecular to global scale. *Soil Biology and Biochemistry*. 43(4): 702–717. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.04.006>.
- Ginting EN, Rahutomo S. 2008. Pengaruh kompos tandan kosong kelapa sawit terhadap produksi tanaman kelapa sawit dan perubahan sifat kimia tanah. *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*. 16(3): 127-133.
- Goh YK, Choon KL, Cheng CR, Tan SY, Cheah LW, Ah Tung PG, Goh YK, Goh KJ. 2017. Effects of chemical properties of different soils on ganoderma disease in oil palm (*Elaeis guineensis*). *Oil Palm Bulletin*. 75(November): 17–26. Retrieved from <http://palmoilis.mpob.gov.my/publications/OPB/opb75-goh.pdf>.
- Guillaume T, Mareike A, Damris M, Brümmer B, Kuzyakov Y. 2016. Agriculture , ecosystems and environment soil degradation in oil palm and rubber plantations under land resource scarcity. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 232: 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.002>.
- Hairiah K, Dewi S, Agus F, Velarde S, Andree E, Rahayu S, van Noordwijk M. 2011. Measuring carbon stocks. In *World Agroforestry Centre*. Retrieved from <http://www.worldagroforestry.org/sea/Publications/files/manual/MN0050-11/MN0050-11-1.pdf>.
- Hairiah K, Sitompul S, van Noordwijk M, Palm C. 2001. Methods for sampling carbon stocks above and below ground. *International Centre for Research in Agroforestry, Bogor, Indonesia, ASB Lecture Note 4B*, pp.25. Retrieved from <http://www.asb.cgiar.org/PDFwebdocs/LectureNotes/ASB-LN-4B-Hairiah-et-al-2001-Methods-sampling-carbon-stocks.pdf>.

- Hairiah K, Utami SR, Lusiana B, van Noordwijk M. 2000. Neraca hara dan karbon dalam sistem agroforestri. Bahan Ajar 6. International Centre for Research in Agroforestry (ICRAF). Bogor, 1-19.
- Hakim N. 2006. Pengelolaan kesuburan tanah masam dengan teknologi pengapuran terpadu. Andalas University Press.
- Hallsworth EG, Wilkinson K. 1958. The contribution of clay and organic matter to the cation exchange capacity of the soil. *The Journal of Agricultural Science*. 51(01): 1-3.
- Hardjowigeno S. 2010. Ilmu Tanah. Edisi Baru. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Hartati W. 2016. Relationship between soil texture and soil organic matter content on mined-out lands In Berau, East Kalimantan, Indonesia. *Nusantara Bioscience*. 8: 83-88. 10.13057/nusbiosci/n080115.
- Haron K, Brookes PC, Anderson JM, Zakaria ZZ. 1998. Microbial biomass and soil organic matter dynamics in oil palm (*Elaeis guineensis* jacq.) plantations, West Malaysia. *Soil Biology and Biochemistry*, 30(5): 547–552. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00217-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00217-4).
- Hasanudin, 2003. Peningkatan ketersediaan dan serapan N dan P serta hasil tanaman jagung melalui inokulasi mikoriza, azatobakter, dan bahan organik pada ultisol. *J. Ilmu - Ilmu Pertanian Indonesia*. 5(2): 83-89.
- Hayadi D, Wawan, Al Ikhsan A. 2014. Sifat Kimiat Ultisol di Bawah Tegakan berbagai umur Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* jacq.). *Jom Faperta Unri*. 1(1): 1-11.
- Johnston AE, Poulton PR, Coleman K. 2009. Chapter 1 Soil Organic Matter. In *advances in Agronomy* (1st ed., Vol. 101). [https://doi.org/10.1016/s0065-2113\(08\)00801-8](https://doi.org/10.1016/s0065-2113(08)00801-8).
- Khasanah N, van Noordwijk M, Ningsih H, Rahayu S. 2015. Carbon neutral? No change in mineral soil carbon stock under oil palm plantations derived from forest or non-forest in Indonesia. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 211: 195-206.
- Krull ES, Skjemstad JO, Baldock JA. 2009. Functions of soil organic matter and the effect on soil properties. GRDC Final Report CSO00029, 128. <https://doi.org/GRDC Project No CSO 00029>.
- Leni, Sumono, Ichwan N. 2017. Kajian sifat fisika dan kimia tanah pada lahan kelapa sawit dengan beberapa jenis vegetasi yang tumbuh di Kebun PT Perkebunan Nusantara III tanah Raja. *J. Rekayasa Pangan dan Pert.* 5(1): 207-214.
- McCauley A, Jones C, Olson-Rutz K. 2017. Soil pH and organic matter. *Nutrient Management Module No.8*. Montana State University.
- Murphy B. 2015. Key soil functional properties affected by soil organic matter– evidence from published literature. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 25: 1-6.
- Murtiaksono K, Darmosarkoro W, Sutarta ES, Siregar HH, Hidayat Y. 2008. Upaya peningkatan produksi kelapa sawit melalui penerapan teknik konservasi tanah dan air. *J. Tanah Trop.* 14(2): 135-142.
- Monde A, Sinukaban N, Murtiaksono K, Pandjaitan N. 2008. Dinamika karbon (C) akibat alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian. *Jurnal Agroland*. 15(1) : 22-26.
- Moradi A, Teh Boon Sung C, Goh KJ, Husni Mohd Hanif A, Fauziah IC. 2015. Effect of four soil and water conservation practices on soil physical processes in a non-terraced oil palm plantation. *Soil and Tillage Research*. 145: 62–71. <https://doi.org/10.1016/j.still.2014.08.005>.
- Nurida NL, Jubaedah. 2014. Teknologi peningkatan cadangan karbon lahan kering dan potensinya pada skala nasional dalam konservasi tanah menghadapi perubahan iklim. Jakarta: Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian.
- Pauli N, Donough C, Oberthür T, Cock J, Verdooren R, Rahmadsyah, Abdurrohman G, Indrasuara K, Lubis A, Dolong T, Pasuquin JM. 2014. Changes in soil quality indicators under oil palm plantations following application of “best management practices” in a four-year field trial. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 195: 98–111. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2014.05.005>.
- Powlson DS, Hirsch PR, Brookes PC. 2001. The role of soil microorganisms in soil organic matter conservation in the tropics. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 61: 41-51.

- Powlson DS, Cai Z, Lemanceau P. 2015. Soil carbon dynamics and nutrient cycling, *dalam* Banwart, S.A., E. Noellemeyer, E. Milne (Editor), Soil carbon: science, management and policy for multiple benefits. SCOPE series. 71: 98-107.
- Prasetyo BH, Suharta N, Subagyo H, Hikmatullah. 2001. Chemical and mineralogical properties of ultisol of Sasamba area, East Kalimantan. Indonesia. *Journal Of Agricultural Science*. 2(2): 37-47.
- Prasetyo BH, Suharta N. 2004. Properties of low activity clay soils from South Kalimantan. *Jurnal Tanah Dan Iklim*. 22: 26-39.
- Prasetyo BH, Suriadikarta DA. 2006. Karakteristik, potensi, dan teknologi pengelolaan tanah ultisol untuk pengembangan pertanian lahan kering di Indonesia. *Jurnal Litbang Pertanian*. 25 (2): 39-47.
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit. 1999. Laporan Survei Tanah Areal Kelapa Sawit. Medan.
- Rahman N, De Neergaard A, Magid J, Van De Ven GWJ, Giller KE, Bruun TB. 2018. Changes in soil organic carbon stocks after conversion from forest to oil palm plantations in Malaysian Borneo. *Environmental Research Letters*. 13(10): 1-12 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aade0f>.
- Santoso H, Wiratmoko D, Sutarta ES, Sugiyono. 2010. Analisis kuantitatif dan spasial untuk menentukan indeks kesuburan tanah di Kebun Dolok Ilir PT. Perkebunan Nusantara IV. *J. Pen. Kelapa Sawit*. 18(1): 1-10.
- Shaheen A, Matien M. 2016. The effect of land use type and climatic conditions on carbon dynamics and physico-chemical properties of Inceptisol and mollisols. *Sarhad Journal of Agriculture*. 32(4): 364-371. <https://doi.org/10.17582/journal.sja/2016.32.4.364.371>
- Siringoringo HH. 2014. Peranan penting pengelolaan penyerapan karbon dalam tanah. *Jurnal Analisis Kebijakan Kehutanan*. 11(2): 175-1924. <https://doi.org/10.5194/esd-9-413-2018>.
- Smith P, Haberl H, Popp A, Erb KH, Lauk C, Harper R, Tubiello FN, Pinto AS, Jafari M, Sohi S, Masera M, Böttcher H, Berndes G, Bustamante M, Ahammad H, Clark H, Dong H, Elsidig EA, Mbow C, Ravindranath NH, Rice CW, Abad CR, Romanovskaya A, Sperling F, Herrero M, House HI, Rose S. 2013. How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals? *Global Change Biology*. 19(8): 2285-2302. <https://doi.org/10.1111/gcb.12160>.
- Soemarno. 2013. Tanah Inceptisol. Bahan Kajian MK. Dasar Ilmu Tanah FP UB. Diakses pada www.marno.lecture.ub.ac.id.
- Solly EF, Weber V, Zimmermann S, Walthert L, Hagedorn F, Schmidt MWI. 2019. Is the content and potential preservation of soil organic carbon reflected by cation exchange capacity? A case study in Swiss forest soils. *Biogeosciences Discussions*, (February), 1-32. <https://doi.org/10.5194/bg-2019-33>.
- Sufardi, Martunis L, Muyassir. 2017. Pertukaran Kation pada Beberapa Jenis Tanah di Lahan Kering Kabupaten Aceh Besar Provinsi Aceh (Indonesia). *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana (SNP) Unsiyah*, (2004): 45-53.
- Sugiyono. 2007. Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D. Bandung: Alfabeta.
- Tao HH, Snaddon JL, Slade EM, Caliman JP, Widodo RH, Suhardi, Willis KJ. 2017. Long-term crop residue application maintains oil palm yield and temporal stability of production. *Agronomy for Sustainable Development*. 37(4). <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0439-5>.
- Tohiruddin L, Foster HL. 2013. Superior effect of compost derived from palm oil mill by-products as a replacement for inorganic fertilisers applied to oil palm. *Journal of Oil Palm Research*. 25(1): 123-137.
- Wahyudi I. 2009. Perubahan konsentrasi alumunium dan serapan fosfor oleh tanaman pada ultisol akibat pemberian kompos. *Buana Sains*. 9(1): 1-10.
- Widiastuti H, Taniwiryono D, Hendarjanti H, Harjotedjo S, Sugeng MHW. 2018. Chemical and biological characteristics of selected wet soil in oil palm plantation attack with *Ganoderma* sp. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 183(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/183/1/012019>.
- Wisdom SB, Emmanuel OB, Kofi AM. 2017. Dynamics of soil carbon sequestration under oil palm plantations of different ages. *Global Symposium on Soil Organic Carbon*. Rome, Italy. 1-4.
- Yulnafatmawita, Adrinal, Hakim AF. 2011. Pencucian bahan organik tanah pada tiga penggunaan lahan di daerah hutan hujan tropis super basah pinang-pinang gunung gadut padang. *Jurnal Solum*. 7(1): 34-42.
- Zaharah AR, Lim KC. 2000. Oil palm empty fruit bunch as a source of nutrients and soil ameliorant in oil palm plantations. *Malaysian Journal of Soil Science*. 4: 51-66.