

Penggunaan limbah organik cair pabrik kelapa sawit dan industri tahu dalam meningkatkan kualitas fisikokimia dan stok karbon tanah Haplustepts

Application of liquid organic waste from palm oil mills and the tofu industry on the physicochemical quality and carbon stock in typic Haplustepts soil

Khusrizal*, Nasruddin, Muliana, Olivia Sukma Zein, Nita Erliana

Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Malikussaleh, Aceh, Indonesia

ARTICLE INFO

Article History

Received: April 14, 2022

Accepted: July 28, 2022

Available Online: July 31, 2022

Keywords:

soil properties,
carbon stock,
liquid organic effluent,
waste utilization,
shrubs

Cite this:

J. Ilm. Pertan., 2022, 19 (2) 107-117

DOI:

<https://doi.org/10.31849/jip.v19i2.9884>

ABSTRACT

The soil type of Haplustepts found in Reuleut, Aceh Utara, possessed low fertility. However, it still has potential for agriculture development through organic matter application, both solid and liquid, to improve its soil qualities. The objective of this study is to examine the effect of the Palm Oil Mill Effluent (POME) and Tofu Industry Liquid Waste (TOFU) on the changes in soil physicochemical properties and soil organic carbon stock (SOCs) of Haplustepts. The study was designed using a Factorial Randomized Block Design, comprising two factors and three replications. The first factor was POME with three different doses: S_0 (0 L/27,000 cm³ of soil volume), S_1 (1.62 L/27,000 cm³ of soil volume), and S_2 (3.24 L/27,000 cm³ of soil volume). The second factor was TOFU comprising three different doses: T_0 (0 L/27,000 cm³ of soil volume), T_1 (2.7 L/27,000 cm³ of soil volume), and T_2 (5.4 L/27,000 cm³ of soil volume). The results indicated that different doses of POME and TOFU applied were non-significant on soil aggregate, bulk density, and soil water availability in Haplustepts. Similar results were recorded on organic-C content, soil pH, cation exchange capacity (CEC), and SOCs. Although insignificant, the value of soil aggregate stability and SOCs increased as the doses of POME and TOFU increased. The indicators of these insignificant results were the different doses applied, high soil water content, and a short period of POME and TOFU incubation.

ABSTRAK

Haplustepts Reuleut Aceh Utara dikenal sebagai *greatgroup* tanah dengan harkat kesuburan rendah, namun memiliki potensi untuk pengembangan pertanian. Bahan organik, baik bahan padatan maupun cair merupakan salah satu materi pembenah kualitas tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan organik limbah pabrik kelapa sawit (LPKS) dan limbah cair industri tahu (LCT) guna meningkatkan kualitas fisikokimia dan stok karbon atau simpanan karbon organik tanah (SKOt) *Haplustepts* Aceh Utara. Penelitian dilakukan menggunakan rancangan acak kelompok faktorial, terdiri dari dua faktor dan tiga ulangan. Faktor pertama adalah LPKS sebanyak 3 level dosis yaitu S_0 (0 L/27.000 cm³ volume tanah), S_1 (1,62 L/27.000 cm³ volume tanah), S_2 (3,24 L/27.000 cm³ volume tanah). Faktor kedua berupa LCT dengan 3 level dosis yakni T_0 (0 L/27.000 cm³ volume tanah), T_1 (2,7 L/27.000 cm³ volume tanah), dan T_2 (5,4 L/27.000 cm³ volume tanah). Hasil studi menunjukkan bahwa dosis-dosis LPKS dan LCT yang digunakan belum menunjukkan perbedaan nyata terhadap kemantapan agregat, *bulk density*, dan kandungan air tanah tersedia. Kondisi serupa juga terlihat pada kandungan C-organik, pH tanah, kapasitas tukar kation (KTK) dan SKOt. Meskipun tidak nyata, nilai kemantapan agregat dan SKOt terindikasi meningkat sejalan dengan meningkatnya hingga dosis tertentu dari LPKS dan LCT. Dosis-dosis LPKS dan LCT yang digunakan, tingginya kandungan air tanah, serta waktu inkubasi LPKS dan LCT yang singkat, menjadi indikasi hasil penelitian ini tidak berbeda nyata.

*Corresponding author

E-mail: khusrizal@unimal.ac.id

PENDAHULUAN

Tanah *Haplustepts* merupakan *greatgroup* tanah yang dicirikan oleh rejim kelembaban ustik dan horison tipis (*hapla*), karakteristik tanahnya beragam bergantung pada bahan induk dan lingkungan pembentuknya (USDA, 2014). Tanah *Haplustepts* tersebar luas di kawasan Reuleut Aceh Utara dengan vegetasi dominan semak belukar, diikuti tanaman pangan sayuran dan padi sawah. Tanah ini dinilai memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai lahan budidaya tanaman pangan lainnya selain sayuran dan padi. Hanya saja sifat tanah *Haplustepts* Reuleut ini tergolong sub-optimal yang terindikasi dari rendahnya nilai-nilai kesuburan fisik, kimia dan biologi tanah sehingga kurang mendukung budidaya tanaman (Nurmasyitah et al., 2013). Rendahnya harkat kesuburan tanah yang kemudian diperkirakan menjadi permasalahan mendasar pada tanah di wilayah ini adalah rendahnya kadar bahan organik tanah (BOT), perihal ini terlihat dari kadar C-organiknya yang hanya sekitar 1.14% (Simbolon, 2017), padahal BOT cerminan kesuburan atau kualitas suatu tanah. Selain itu BOT juga mampu mendorong peningkatan simpanan karbon organik tanah (SKOt), dimana besaran nilai SKOt pada suatu tanah juga berkaitan erat dengan kualitas tanah melalui pembenahan sifat-sifat fisik, kimia dan biologinya (Marques et al., 2016; Sudhakaran et al., 2018).

Kandungan karbon tersimpan di dalam tanah umumnya berupa biomassa tanaman dan hasil lapukan berbagai sisa tanaman maupun hewan. Oleh sebab itu jumlah SKOt dalam tanah dapat bervariasi tergantung pada tipe tanah, wilayah ataupun daerah serta faktor-faktor yang mempengaruhinya. Jumlah SKOt pada tanah-tanah garapan budidaya dapat berbeda dengan tanah hutan, padang rumput, hutan pinus, sawah, semak belukar dan perkebunan (Zuazo et al., 2014). Kadar SKOt pada tanah-tanah *Inceptisols* dengan tanah *Andisols*, *Mollisols*, *Oxisols*, *Ultisols* dan *Alfisols* juga berbeda (Paz et al., 2016). Kadar SKOt pada kedalaman 0-40 cm lahan tanaman budidaya, padang rumput, dan tanah pertanian di Latvia berbeda, dimana masing-masingnya adalah 83.0, 88.6, dan 85.6 tC ha⁻¹ (Bardule et al., 2017). Jumlah SKOt yang berbeda juga terlihat pada lahan sawah yang dibudidayakan serai wangi di Sumatera Barat yaitu sebanyak 6.5 tC ha⁻¹ (Juniarti, 2017).

BOT memainkan peranan penting dalam meningkatkan harkat kesuburan tanah, karena bahan organik (BO) mampu memperbaiki sifat-sifat tanah baik fisik, kimia maupun biologi tanah menjadi lebih baik (Walsh dan McDonnell, 2012). Selain itu BOT terbukti dapat menambah kandungan unsur hara dalam tanah, sehingga dapat meningkatkan harkat kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman (Dewi, 2011; Maharani et al., 2017). BOT juga mampu meningkatkan kandungan karbon organik tanah yang kemudian akan mempengaruhi keberadaan SKOt (Yang et al., 2020). Jenis BO yang dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas tanah baik dalam bentuk padat maupun cair relatif banyak tersedia. LPKS dan LCT merupakan dua contoh BO bentuk cair yang banyak dan mudah ditemukan. Loh et al. (2019) melaporkan pemanfaatan LPKS dan pupuk kandang ayam mampu meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman. Moridi et al. (2021) juga menyatakan bahwa limbah organik cair termasuk LPKS yang digunakan sebagai pupuk mampu meningkatkan kualitas fisik dan biologi tanah. Hal ini berhubungan dengan kandungan unsur-unsur yang ditemukan dalam LPKS dan LCT, diantaranya N, P, K, Ca, Mg, dan C-organik (Maharani et al., 2017; Ubani et al., 2017). Diketahui komposisi unsur hara yang terdapat dalam LPKS terdiri dari N sekitar 9167 ppm, P 20.1 ppm dan K 742 ppm (Raja et al., 2021). Sementara dalam LCT mengandung senyawa-senyawa organik seperti protein (40-60%), karbohidrat (25-50%), dan lemak (10%), serta unsur hara N (1.24%), P₂O₅ (5.54%), K₂O (1.34%) dan C-Organik (5.80%) (Kusumaningtyas et al., 2020). Berkaitan dengan budidaya tanaman, penggunaan LCT mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman bayam merah (Anggraini et al., 2020). Uji kombinasi LCT dan daun pisang kering berinteraksi nyata meningkatkan hasil tanaman jamur merang (Indratmi et al., 2021).

Kajian menggunakan BO padat maupun cair untuk meningkatkan sifat-sifat fisika, kimia dan biologi tanah telah banyak dilakukan, dimana BO cair LPKS mampu meningkatkan kadar air, suhu dan kelembaban tanah, meningkatkan N-total, P-total, K-,Mg,Ca,Na-tukar, dan menurunkan pH tanah serta P-tersedia, namun LPKS tidak mempengaruhi tekstur tanah (Chinyere et al., 2018; Nmaduka et al., 2018). Selanjutnya Rosmalinda dan Susanto (2018) juga menyatakan bahwa LPKS berpengaruh nyata terhadap peningkatan sifat kimia tanah gambut (pH, C-organik, N,P, unsur basa, KTK). Sementara

Bakri et al. (2021) melaporkan LPKS tidak berpengaruh nyata terhadap total ruang pori, permeabilitas, pH, C-organik, dan P-tersedia. Sementara LCT dapat berkontribusi terhadap peningkatan pH, C-organik, N-total, P-tersedia, KTK, ion K⁺ dan Na⁺ (Hidayani et al., 2015; Saraswati, 2015). Nhu et al. (2018) melaporkan kadar N-total, P-total, K_{total}, dan C-organik juga meningkatkan akibat pemberian pupuk hayati dan pupuk organik cair, dan kondisi ini mampu menunjang pertumbuhan tanaman sayuran dalam percobaan pot. Meskipun demikian telaahan pemakaian LPKS dan LCT terhadap perubahan beberapa sifat fisikokimia dan SKOt, khususnya pada tanah *Haplustepts* Reuleut Aceh Utara informasinya sangat terbatas. Beberapa studi yang dilakukan di kawasan ini adalah perubahan sifat kimia tanah dan pertumbuhan kedelai yang diberi mikoriza (Nurmasyitah et al., 2013), efisiensi pemupukan NPK dan aplikasi mikoriza terhadap perubahan P-tersedia dan serapan P (Khairuna, 2017), peran sampah kota dan ampas tebu untuk meningkatkan kadar karbon, nitrogen dan fosfor (Simbolon, 2017), serta perubahan sifat kimia dan pertumbuhan jagung pulut melalui pemberian biochar dan mikoriza (Hutagaol, 2021). Adapun tujuan penelitian ini untuk mempelajari implikasi penggunaan bahan organik limbah pabrik kelapa sawit (LPKS) dan limbah cair industri tahu (LCT) dalam meningkatkan kualitas sifat fisikokimia dan stok karbon tanah *Haplustepts* Aceh Utara.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilaksanakan di lahan semak belukar kawasan Reuleut Aceh Utara pada jenis tanah *Haplustepts*. Lahan lokasi penelitian bersisian dengan kebun percobaan Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh, kebun sayuran dan persawahan masyarakat. Hasil analisis sifat-sifat tanah *Haplustepts* lokasi kajian sebelum perlakuan disajikan pada Tabel 1. Bahan yang digunakan sebagai perlakuan dalam penelitian ini adalah limbah organik cair yaitu LPKS dan LCT. LPKS diperoleh dari PT. Herfinta, Kabupaten Labuhan Batu Selatan, Provinsi Sumatera Utara. LCT berasal dari limbah pabrik tahu di Kabupaten Bireuen, Provinsi Aceh. Hasil analisis sifat dan kandungan unsur hara LPKS serta LCT sebelum digunakan ditunjukkan pada Tabel 2. Bahan-bahan kimia yang digunakan dalam proses analisis sifat-sifat tanah, sifat kimia dan kandungan unsur hara dalam LPKS dan LCT di laboratorium, di antaranya K₂Cr₂O₇ 1N, akuades, indikator difenilamin, H₂SO₄ pekat, H₃PO₄ 85%, FeSO₄ 1N, H₂O₂ 10%, HCl 25%, KCl 1N, dan Na₄P₂O₇ · 10 H₂O, 30%.

Tabel 1. Sifat-sifat tanah *Haplustepts* Reuleut Aceh Utara sebelum perlakuan

No.	Sifat Tanah	Metode	Nilai	Keterangan*
1	Tekstur - 3 fraksi (%)	Pipet & Penyaringan	P(24), D(41), L(35)	Lli
2	pH H ₂ O (1:2,5)	Elektroda Gelas	5.15	Agak masam
3	C-organik (%)	Walkley & Black	1.26	Rendah
4	N-total (%)	Kjeldahl	0.09	Sangat rendah
5	P ₂ O ₅ (ppm)	Bray-I	4.98	Sangat rendah
6	K ₂ O (mg/100 g)	HCl 25%	22.16	Sedang
7	Fe-dapat tukar (ppm)	1 N NH ₄ OAc pH 4,8	954	-
8	Al-dapat tukar (me/100 g)	1 N KCl	0.72	-
9	KTK (me/100 g)	1 N NH ₄ OAc pH 7,0	17.10	Sedang
10	Bulk Density	Ring sample	1.44	Sedang

Keterangan : * Staf Pusat Penelitian Tanah 1983 dalam (Hardjowigeno, 2015)

P (pasir), D (debu), L (liat), Lli (lempung berliat)

LPKS yang digunakan sebagai perlakuan diambil atau berasal dari kolam anaerob primer (kolam ke-2), dimana LPKS dari kolam ke-2 ini merupakan salah satu kolam yang limbahnya digunakan langsung oleh PT. Herfinta itu sendiri sebagai pupuk pada budidaya kelapa sawit. LCT yang digunakan berasal dari pabrik tahu di kota Bireuen, bahannya diambil dari limbah akhir proses pembuatan tahu. Sebelum digunakan, LCT yang sudah diambil ini kemudian disimpan pada wadah untuk difermentasi selama 2 minggu (Widari et al., 2020).

Tabel 2. Hasil analisis sifat kimia dan kandungan unsur hara LPKS dan LCT sebelum digunakan

No.	Parameter	Metode	LPKS	LCT
1.	Ph	Elektrometri	4.91	5.66
2.	C-organik (%)	Walkley & Black	10.08	21.14
3.	C/N	-	37.33	20.52
4.	N-total (%)	Kjeldahl	0.27	1.03
5.	P ₂ O ₅ (%)	Spektrofotometer	0.19	0.36
6.	K ₂ O (%)	Spektrofotometer	0.31	0.48
7.	Ca (mg/l)	Spektrofotometer	144.17	20.16
8.	Mg (mg/l)	Spektrofotometer	235.24	23.46
9.	Fe (mg/l)	Spektrofotometer	30.76	-
9.	BOD (g/l)	Winkler	26,660	6,195
10.	COD (g/l)	Winkler	43,401	8,710

Penelitian dilakukan menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) faktorial dua faktor. Faktor pertama yaitu LPKS dengan 3 level dosis yaitu S_0 (0 L/27,000 cm³ volume tanah), S_1 (1.62 L/27,000 cm³ volume tanah), S_2 (3.24 L/27,000 cm³ volume tanah). Faktor kedua yaitu LCT dengan level dosis yakni T_0 (0 L/27,000 cm³ volume tanah), T_1 (2.7 L/27,000 cm³ volume tanah), dan T_2 (5.4 L/27,000 cm³ volume tanah). Perlakuan-perlakuan tersebut diulang tiga kali, sehingga secara keseluruhan terdapat 27 unit satuan percobaan. Sebelum aplikasi perlakuan, lahan percobaan dipilih dan dipastikan terletak pada posisi datar dan rata, serta hanya bervegetasi rumput rendah yang seragam. Selanjutnya dibuat ukuran petak 30 x 30 cm, dengan jarak antar petak 50 cm. Pada saat akan diberi perlakuan, disetiap petak dipasang plat besi segi empat berukuran 30x30x30 cm dengan ditekan/ketok hingga masuk ke dalam tanah dan tersisa sekitar 2 cm di permukaan tanah. Tujuan pemasangan plat tersebut agar pemberian perlakuan tepat dan mencapai sasaran atau tidak mengalir keluar dari petak percobaan.

Bahan perlakuan paling awal yang diberikan adalah LPKS sesuai dosis untuk seluruh unit perlakuan, selanjutnya diikuti dengan pemberian LCT untuk seluruh unit perlakuan. Pemberian perlakuan dilakukan pada saat matahari cerah atau tidak hujan, hal dilakukan agar hujan tidak mempengaruhi bahan perlakuan. Dua bulan (60 hari) setelah perlakuan diambil sampel tanah utuh, gumpalan tanah, dan tanah terganggu guna ditetapkan sifat-sifat fisikokimia di laboratorium (Kurnia et al., 2006; Sulaeman et al., 2005). Sampel tanah utuh diambil menggunakan ring sampel, yang kemudian digunakan untuk keperluan analisis *bulk density* (BD-g cm⁻³) (Ring sampel) dan kandungan air tersedia (selisih air pF 2.54 dan pF 4.20). Sampel gumpalan tanah yang telah diambil ditempatkan dalam kotak agar tidak kering dan hancur, gumpalan tanah ini digunakan untuk menetapkan kemantapan agregat (Ayakan kering dan basah). Sedangkan sampel tanah terganggu sebelum digunakan, terlebih dahulu dikering anginkan dan diayak, lolos ayakan 2 mm. Sampel tanah terganggu digunakan untuk analisis sifat-sifat tanah, yaitu tekstur tanah 3 fraksi-% (Pemipetan & penyaringan), C-organik-% (Walkley & Black), pH (H₂O) tanah (pH meter, Model 330i Wissenschaftlich-Technische Werkstat GmbH, Weilheim, Germany), dan KTK (me/100g- ekstraksi NH₄ OAc pH 7.0 dengan *Atomic Adsorption Spectrophotometer* (Model AA 220, Varian Sydney Australia). Dalam penelitian ini juga ditetapkan besaran konsentrasi SKOt, dan untuk mendapatkan nilai SKOt dihitung dengan menggunakan rumus: $SKOt (g cm^{-2}) = \%C\text{-organik} \times BD (g cm^{-3}) \times kedalaman \text{ tanah (cm)}$ ((FAO, 2019), dengan kedalaman lapisan tanah pada kajian ini adalah 30 cm. Data-data hasil kajian dianalisis menggunakan analisis ragam, dan apabila ditemukan pengaruh nyata maka dilanjutkan dengan uji lanjut menggunakan uji DMRT pada $P > 0.05$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekapitulasi pengaruh LPKS dan LCT terhadap kualitas fisiko-kimia dan simpanan karbon organik tanah

Variabel sifat-sifat fisiko-kimia dan SKOt tanah *Haplustepts* Reuleut Aceh Utara yang diberikan perlakuan kombinasi LPKS dan LCT disajikan pada Tabel 3. Semua variabel yaitu kemantapan agregat, bulk density, kadar air tersedia, C-

organik, pH tanah, KTK dan SKOt tidak berpengaruh nyata baik secara tunggal maupun kombinasinya. Oleh sebab itu penggunaan kedua jenis limbah organik cair tersebut belum secara nyata meningkatkan harkat kesuburan tanah *Haplustepts* yang dikaji.

Table 3. Rekapitulasi pengaruh LPKS dan LCT terhadap sifat fisiko-kimia dan SKOt *Haplustepts* Aceh Utara

No.	Variabel	Perlakuan			KK (%)
		S	T	S*T	
1	Kemantapan Agregat	ns	ns	ns	17.38
2	<i>Bulk density</i> (g cm ⁻³)	ns	ns	ns	15.21
3	Air Tersedia (%)	ns	ns	ns	21.02
4	C-organik (%)	ns	ns	ns	17.38
5	pH Tanah-H ₂ O	ns	ns	ns	5.57
6	KTK (me/100g)	ns	ns	ns	20.13
7	SKOt	ns	ns	ns	14.90

Keterangan : S = LPKS, T = LCT, S*T = LPKS*LCT, ns= tidak nyata, KK= Koefisien Keragaman

Pemberian LPKS dan LCT yang tidak berpengaruh nyata terhadap semua variabel sifat tanah yang diukur baik secara tunggal maupun kombinasinya, dikarenakan kandungan berbagai senyawa dan asam-asam organik yang terdapat dalam kedua jenis limbah organik cair tersebut, baik LPKS maupun LCT belum terbebaskan dengan sempurna. Situasi ini terkait dengan karakter bahan organik baik dalam bentuk padat maupun cair, yang mana bahan-bahan ini memerlukan waktu yang lama untuk membebaskan unsur-unsur dan senyawa-senyawa asam organik yang dikandungnya. Selain membutuhkan waktu yang cukup, didalam proses fermentasi bahan organik cair juga memerlukan penambahan bioaktivator sebagaimana yang dilaporkan (Purba, 2019). Proses dekomposisi atau mineralisasi bahan organik adalah proses yang melibatkan berbagai kondisi seperti sifat bahan organiknya termasuk rasion C/N, tanah dan iklim setempat. Kecepatan mineralisasi LPKS dan LCT sebagai bahan organik juga demikian, dan umumnya dapat berlangsung dengan baik pada rasio C/N 15-20, tanah yang relatif subur dan aerasi baik, serta temperatur yang relatif panas sehingga dapat mendorong aktivitas mikroorganisme perombak (Moridi et al., 2021).

Hasil kajian Ermadani et al. (2019) yang menggunakan LPKS dan pupuk buatan juga tidak berinteraksi nyata terhadap perubahan sifat-sifat kimia tanah bereaksi masam, meskipun LPKS secara mandiri mampu meningkatkan kadar C-organik, C-asam humat, pH, N-total, P-tersedia, K-tukar dan KTK serta menurunkan kadar Aluminium. Kajian lainnya juga menunjukkan bahwa LPKS tidak berpengaruh nyata terhadap sifat fisikokimia tanah *Ultisols* yaitu total ruang pori, permeabilitas, pH, C-organik, dan P-tersedia (Bakri et al., 2021).

Sifat fisika tanah

Kemantapan agregat dan bulk density

Hasil analisis sifat-sifat fisik yaitu kemantapan agregat, bulk density, dan air tersedia akibat pemberian LPKS dan LCT ditunjukkan pada Tabel 4. Hasil analisis statistik pemberian LPKS dan LCT baik secara mandiri maupun kombinasinya belum menunjukkan pengaruh nyata, namun nilainya sangat bervariasi. Nilai rerata kemantapan agregat tanah berkisar 27 hingga 79, yang terkategori indek tidak mantap sampai mantap, dimana nilai paling rendah yaitu 27 (tidak mantap) terlihat pada perlakuan kombinasi tanpa LPKS dan LCT serta LPKS 1.62 L/27,000 cm³ volume tanah dan LCT 5.4 L/27,000 cm³ volume tanah. Sementara nilai kemantapan agregat tertinggi sebesar 79 (mantap) terdapat pada perlakuan kombinasi LPKS 3.24 L/27,000 cm³ volume tanah dan LCT 2.7 L/27,000 cm³ volume tanah. Tingginya nilai kemantapan agregat tanah pada kombinasi perlakuan tersebut adalah yang terbaik, hal ini menunjukkan bahwa penggunaan LPKS dan LCT dengan dosis tersebut meningkatkan kemantapan agregat tanah dari 27 hingga 79 meskipun tidak berpengaruh

nyata. Bahan atau pupuk organik baik dalam bentuk padat maupun cair diketahui sangat berperan untuk menstimulir agregasi tanah menjadi lebih baik (Kamal et al., 2012; Sarker et al., 2021)

Table 4. Nilai kemantapan agregat, *bulk density* dan air tersedia tanah *Haplustepts* Aceh Utara akibat penggunaan LPKS dan LCT

No.	Kombinasi Perlakuan	Kemantapan Agregat	<i>Bulk Density</i> (g cm ⁻³)	Air Tersedia (%)
1	S ₀ T ₀	27 ns	1.50 ns	47.94 ns
2	S ₀ T ₁	55 ns	1.31 ns	48.29 ns
3	S ₀ T ₂	28 ns	1.56 ns	49.65 ns
4	S ₁ T ₀	52 ns	1.50 ns	49.06 ns
5	S ₁ T ₁	39 ns	1.52 ns	47.62 ns
6	S ₁ T ₂	27 ns	1.48 ns	47.52 ns
7	S ₂ T ₀	32 ns	1.51 ns	44.90 ns
8	S ₂ T ₁	79 ns	1.56 ns	45.15 ns
9	S ₂ T ₂	32 ns	1.53 ns	46.35 ns

Keterangan : ns = tidak nyata

Nilai *bulk density* tanah berkisar 1.31-1.56 g cm⁻³ dan terkategori sedang, nilai paling rendah sebesar 1.31 g cm⁻³ terdapat pada pemberian tanpa LPKS dan LCT 2.7 L/27,000 cm³ volume tanah, sedangkan yang tertinggi sebanyak 1.56 terdapat pada tanpa pemberian LPKS dan LCT 5.4 L/27,000 cm³ volume tanah serta pemberian LPKS 3.24 L/27,000 cm³ volume tanah dan 2.7 L/27,000 cm³ volume tanah (Tabel 4). Pemberian LPKS dan LCT tidak menunjukkan kontribusi nyata terhadap menurunnya nilai *bulk density* tanah. Hal ini diperkirakan bahan organik cair belum mampu mempengaruhi komposisi tingkat kehalusan maupun kekasaran tanah (Oztekin et al., 2015). Hal berbeda diperkirakan dapat terjadi apabila bahan organik yang diberikan berupa bahan organik padatan.

Kandungan air tersedia

Kadar air tersedia akibat pengaruh pemberian LPKS dan LCT disajikan pada Tabel 4 Pemberian kedua limbah bahan organik cair tersebut juga tidak berpengaruh nyata terhadap kadar air tersedia. Nilai rerata kadar air tersedia berada antara 44.90% hingga 49.65% yang terkategori tinggi. Kandungan air tersedia paling rendah 44.90% dijumpai pada pemberian LPKS 3.24 L/27,000 cm³ volume tanah dan LCT 0 L/27,000 cm³ volume tanah, sedangkan kadar air tersedia tertinggi 49.65% ditemukan pada perlakuan tanpa pemberian LPKS 0 L/27,000 cm³ volume tanah dan LCT 5.4 L/27,000 cm³ volume tanah. Fenomena ini memperlihatkan bahwa LPKS dan LCT belum secara nyata berkontribusi dalam mempengaruhi dinamika kandungan air tanah, hal ini dapat terjadi disamping belum optimalnya proses penguraian LPKS dan LCT juga dapat disebabkan oleh kandungan air tanah yang tinggi. Hal ini sejalan dengan kajian (Minasny dan McBratney, 2018) yang melaporkan bahwa pada kondisi tertentu seperti pada tipe tanah berkadar air tinggi, bahan organik hanya mampu meningkatkan kadar air tanah tersebut dalam jumlah sangat kecil.

Sifat kimia tanah

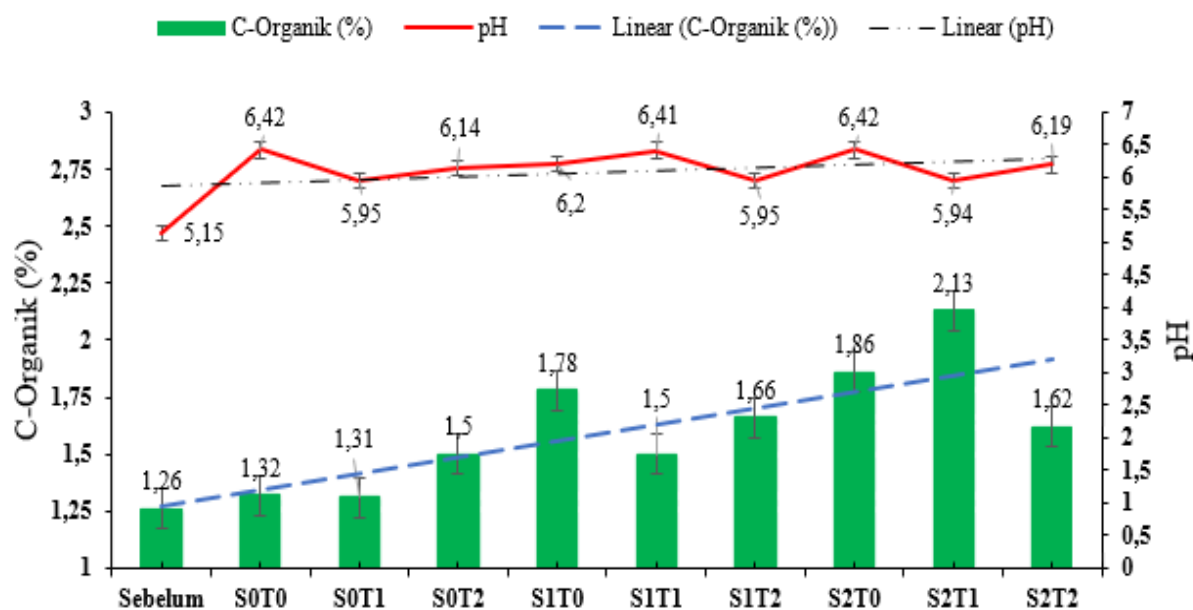
Karbon organik dan pH tanah

Nilai beberapa variabel sifat kimia tanah yaitu C-organik, pH tanah, dan KTK yang diberikan LPKS dan LCT disajikan pada Tabel 5. Nilai C-organik berkisar 1.31-2.13% dan terkategori sangat rendah, nilai paling rendah 1.31% dijumpai pada perlakuan tanpa pemberian LPKS dan LCT 2.7 L/27,000 cm³ volume tanah, sedangkan nilai tertinggi 2.13% ditemukan pada pemberian LPKS 3.24 L/27,000 cm³ volume tanah dan LCT 2.7 L/27,000 cm³ volume tanah. Pemberian LPKS dan LCT belum menunjukkan pengaruh yang nyata terhadap kadar C-organik tanah, meskipun terlihat terjadinya peningkatan dibanding tanpa LPKS dan LCT. Hal ini disebabkan proses mineralisasi kedua limbah organik cair tersebut belum berjalan sebagaimana mestinya, proses mineralisasi BO termasuk bahan organik cair dapat terhambat apabila tidak

didukung oleh kondisi lingkungan yang optimal (Vilkenė et al., 2016). Selain itu karbon hasil perombakan BO tersebut sangat mungkin mengalami oksidasi menjadi karbondioksida (Walsh dan McDonnell, 2012), sehingga penggunaan kedua limbah cair tersebut tidak berpengaruh nyata terhadap kadar C-organik tanah.

Nilai rerata pH tanah berkisar 5.94-6.42 yang tergolong agak masam, nilai terendah 5.94 didapat pada perlakuan LPKS 3.24 L/27,000 cm³ volume tanah dan LCT 2.7 L/27,000 cm³ volume tanah, sementara nilai tertinggi pH 6.42 dijumpai justru pada pemberian LPKS 3.24 L/27,000 cm³ volume tanah dan tanpa pemberian LCT serta tanpa pemberian LPKS dan tanpa LCT. Secara umum dapat dikatakan pemberian kedua bahan organik cair tersebut dapat menurunkan nilai pH tanah meskipun tidak nyata. Fenomena ini berhubungan erat dengan senyawa asam-asam organik seperti fulvat, humat dan humin, dimana asam-asam ini akan menyumbang hidrogen ke dalam tanah yang menyebabkan menurunnya nilai pH (Rukshana et al., 2014).

Meskipun tidak berpengaruh nyata, nilai-nilai C-organik dan pH tanah setelah aplikasi LPKS dan LCT lebih tinggi dari nilai sebelum aplikasi kedua limbah cair tersebut (analisis tanah awal, Gambar 1). Nilai C-organik dari 1.26% menjadi berkisar 1.31-2.13%, hal yang sama juga diperlihatkan oleh pH tanah dari 5.15 menjadi berkisar 5.94-6.42. Hal ini menjadi indikasi penggunaan LPKS dan LCT dengan dosis dan waktu yang tepat memungkinkan meningkatkan kualitas sifat-sifat tanah untuk budidaya pertanian.



Gambar 1. Perubahan C-Organik (%) dan pH Tanah dengan Penggunaan LPKS dan LCT

Kapasitas tukar kation (KTK)

Pada Tabel 5 juga diperlihatkan nilai KTK yang berkisar 20.07-29.23 me/100g, nilai ini juga terkategori sedang hingga tinggi. Nilai paling rendah 20.07 me/100g ditemukan pada perlakuan pemberian LPKS 1.62 L/27.000 cm³ volume tanah dan tanpa LCT, sedangkan nilai KTK tertinggi 29.23 me/100g didapat pada perlakuan tanpa pemberian LPKS dan LCT 5.4 L/27,000 cm³ volume tanah. Secara umum dapat dinyatakan bahwa perlakuan pemberian LPKS dan LCT meningkatkan nilai KTK meskipun tidak nyata. Kondisi ini dapat terjadi disebabkan bahan organik baik dalam bentuk padat maupun cair dikenal sebagai salah satu tipe koloid tanah, yang berperan dalam proses penyerapan dan pertukaran kation (Alemayehu dan Teshome, 2021; Nesic et al., 2015).

*Stok karbon**Simpanan karbon organik tanah*

Besaran kandungan SKOt akibat perlakuan pemberian LPKS dan LCT berkisar 56.72 – 99.65 gC cm⁻² (Tabel 5). Kandungan paling rendah yaitu 56.72 gC cm⁻² dijumpai pada perlakuan tanpa pemberian LPKS dan LCT, sementara kandungan paling tinggi sebesar 99.65 gC cm⁻² ditemukan pada perlakuan pemberian LPKS 3.24 L/27,000 cm³ volume tanah dan LCT 2.7 L/27,000 cm³ volume tanah. Pemberian LPKS dan LCT terhadap jumlah SKOt juga belum menunjukkan pengaruh yang nyata, hal ini dikarenakan kedua bahan organik cair tersebut belum mengalami proses penguraian sempurna. Meskipun demikian nilai kandungan SKOt cukup bervariasi dan terlihat meningkat dengan pemberian LPKS dan LCT. Kajian dengan hasil senada juga dilaporkan Yan et al. (2022), bahwa penggunaan berbagai jenis pupuk organik dan tipe irigasi belum menunjukkan pengaruh nyata terhadap konsentrasi SKOt. SKOt adalah bagian utama dari bahan organik tanah, apabila proses penguraian bahan organik dapat berlangsung normal, maka kandungan SKOt akan lebih meningkat (Alekseev dan Abakumov, 2022). Jika besaran nilai SKOt dapat meningkat, maka akan berimplikasi terhadap penambahan jumlah simpanan karbon global, kualitas dan produktivitas tanah, serta mengurangi emisi CO₂ ke atmosfer (Baveye et al., 2020; Minasny dan McBratney, 2018).

Table 5. Nilai C-organik, pH, KTK dan SKOT *Haplustepts* Aceh Utara setelah LPKS dan LCT

No.	Kombinasi Perlakuan	C-Organik (%)	pH Tanah H ₂ O	KTK (me/100g)	SKOt (gC cm ⁻²)
1	S0T0	1.32 ns	6.42 ns	23.92 ns	56.72 ns
2	S0T1	1.31 ns	5.95 ns	20.54 ns	62.04 ns
3	S0T2	1.50 ns	6.14 ns	29.23 ns	70.55 ns
4	S1T0	1.78 ns	6.20 ns	20.07 ns	81.12 ns
5	S1T1	1.50 ns	6.41 ns	28.39 ns	64.48 ns
6	S1T2	1.66 ns	5.95 ns	28.84 ns	73.88 ns
7	S2T0	1.86 ns	6.42 ns	24.81 ns	84.54 ns
8	S2T1	2.13 ns	5.94 ns	23.52 ns	99.65 ns
9	S2T2	1.62 ns	6.19 ns	28.64 ns	74.78 ns

Keterangan: ns = tidak nyata

Dalam kajian ini salah satu faktor yang menyebabkan lambatnya penguraian LPKS dan LCT diduga akibat tingginya kandungan air tanah atau kelembaban tanah. sehingga dapat mengurangi jumlah oksigen yang selanjutnya berpengaruh terhadap aktivitas mikrobial perombak. Tingginya rasio C/N dalam LPKS yang mencapai sekitar 37.33 juga dapat menjadi penghambat proses mineralisasi komponen organik. Selain itu dinamika besaran kandungan SKOt juga dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor lain. diantaranya vegetasi. iklim. topografi. bahan induk dan tipe atau jenis tanah. Keragaman dari setiap faktor tersebut akan menyebabkan kandungan SKOt bervariasi (Zhang et al., 2021). Sesungguhnya. lamanya waktu yang dibutuhkan untuk sekuestrasi karbon organik tanah juga sangat lama. umumnya tahunan bahkan puluhan tahun. FAO (2004) melaporkan bahwa sekuestrasi karbon organik tanah sebesar 20 PgC pada lapisan olah membutuhkan waktu sekitar 25 tahun.

Diketahui terdapat banyak faktor penghambat proses dekomposisi BO termasuk limbah organik cair. oleh sebab itu lama waktu fermentasi bahan limbah sebelum digunakan perlu menjadi pertimbangan. Menurut Zaeni et al. (2019) untuk fermentasi bahan limbah cair membutuhkan waktu lebih lama yaitu sekitar 3 bulan. dibanding dengan limbah padat yang hanya sekitar 1 hingga 2 bulan. Begitu pula waktu inkubasi setelah aplikasi sebaiknya juga >3 bulan (Maheshwari et al., 2014). dan dibutuhkan penambahan dosis limbah cair yang akan digunakan. mengingat kajian yang dilaporkan Saraswati (2015) penggunaan LCT dengan dosis hingga 150 m³/ha. sifat-sifat kimia tanah meningkat dengan nyata.

KESIMPULAN

Dosis LPKS dan LCT yang digunakan baik secara tunggal maupun kombinasinya belum nyata mengubah semua sifat-sifat fisik, kimia tanah dan kandungan SKOt yang diukur. Meskipun demikian beberapa sifat fisik, kimia tanah dan kandungan SKOt tersebut umumnya bervariasi dan cenderung meningkat dibanding tanpa perlakuan kedua limbah organik cair tersebut. Kecenderungan peningkatan harkat sifat-sifat tanah dan SKOt dimaksud sejalan dengan peningkatan dosis LPKS dan LCT. Nilai kemantapan agregat tanah dan kandungan SKOt bertendensi meningkat seiring dengan bertambahnya dosis LPKS dan LCT. Selain dosis, waktu yang digunakan selama 60 hari untuk proses penguraian limbah bahan organik cair, juga menjadi alasan sehingga pemberian LPKS dan LCT tidak nyata meningkatkan semua parameter yang ditetapkan. Oleh sebab itu sangat memungkinkan dilakukan kajian lanjutan dengan peningkatan dosis kedua limbah bahan organik cair ini disertai waktu inkubasi bahan tersebut yang lebih lama.

DAFTAR PUSTAKA

- Alekseev, I., & Abakumov, E. (2022). Soil organic carbon stocks and stability of organic matter in permafrost-affected soils of Yamal Region, Russian Arctic. *Geoderma Regional*, 28, e00454.
- Alemayehu, B., & Teshome, H. (2021). Soil colloids, types and their properties: A review. *Open Journal of Bioinformatics and Biostatistics*, 5(1), 008-013.
- Anggraini, W., Zulfa, M., Prihantini, N. N., Batubara, F., & Indriyani, R. (2020). *Utilization of tofu wastewater for the growth of red spinach (alternantheraamoenovoss) in floating raft hydroponic cultures*. Paper presented at the Journal of Physics: Conference Series.
- Bakri, Sabaruddin, & Rahmadhoni, L. (2021). *Pengaruh penambahan limbah cair pabrik kelapa sawit terhadap sifat fisika dan kimia tanah serta pertumbuhan dan hasil tanaman kedelai pada ultisols*. Paper presented at the Seminar Nasional Lahan Suboptimal.
- Bardule, A., Lupikis, A., Butlers, A., & Lazdins, A. (2017). Organic carbon stock in different types of mineral soils in cropland and grassland in Latvia. *Zemdirbyste-Agriculture*, 104(1).
- Baveye, P. C., Schnee, L. S., Boivin, P., Laba, M., & Radulovich, R. (2020). Soil Organic Matter Research and Climate Change. Merely Re-storing Carbon Versus Restoring Soil Functions. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 1-8. doi: <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.5799>
- Chinyere, G., Nwaogwugwu, C., & Atasi, O. (2018). Effect of palm oil mill effluent (POME) dumping on soil physicochemical parameters and selected plant nutrients in Uturu Abia State Nigeria *Global Scientific Journals*, 4(1), 244-259.
- Dewi, R. P. (2011). *Utilization of liquid waste of tofu industry and leachate as liquid organic fertilizer through fermentation process* (Tesis). Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Ermadani, Hermansyah, Fatmawati, Y., Syarif, A., & Lenin, I. (2019). Use of organic waste as an alternative organic fertilizer and synthetic fertilizer to ameliorate acid soil productivity. *IJASEIT*, 4(3), 822-828.
- FAO. (2004). *Carbon sequestration in dryland soils*. *World Soil Resources Reports 102*. Food And Agriculture Organization of The United Nations. Rome, Italy; Food And Agriculture Organization.
- FAO. (2019). *Measuring and modelling soil carbon stocks and stock changes in livestock production systems: Guidelines for assessment (Version 1)*. Livestock Environmental Assessment and Performance (LEAP) Partnership. Rome. FAO. 170 pp Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.: Food and Agriculture Organization Of The United Nations.
- Hardjowigeno, S. (2015). *Ilmu tanah*. Jakarta: Akademika Presindo.
- Hidayani, Sufardi, & Hakim, L. (2015). Limbah tahu untuk memperbaiki sifat kimia dan biologi tanah serta hasil tanaman jagung manis (Zea mays var. saccharata Sturt L.). *Jurnal Manajemen Sumberdaya Lahan*, 4(1), 572-578.
- Hutagaol, L. D. (2021). *Aplikasi biokompos dan mikoriza terhadap sifat kimia tanah Inceptisol, pertumbuhan dan hasil jagung pulut ungu* (Skripsi). Program Studi Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh.
- Indratmi, D., Kurniasari, Y. D., Hartawati, H., & Ikhwani, A. (2021). *Utilization of tofu industry waste and banana plant waste for growing medium of brown oyster mushrooms (Pleurotus cystidiosus [Jacq. Fr.] P. Kumm.)*. Paper presented at the E3S Web of Conferences.

- Juniarti. (2017). Soil carbon stock in sub-optimal land rice paddy watersheds due to climate change on development Cymbopogon nardus L. Simawang Village. West Sumatra. Indonesia. *International Journal of Applied Engineering Research*. 12(21). 10979-10980.
- Kamal. A., Alam. M., Uddin. M., Hossain. M., & Islam. M. (2012). Impact of organic fertilizer on physical and chemical properties of soil as well as yield and quality of mango. *J. Bangladesh Soc. Agric. Sci. Technol.* 9(1&2). 167-170.
- Khairuna. K. (2017). Efisiensi pemupukan NPK dengan aplikasi fungi mikoriza arbuskular (FMA) terhadap P-tersedia, serapan P dan pertumbuhan bibit lada lokal aceh pada media tanah inceptisols. *Jurnal Floratek*. 12(2). 62-74.
- Kurnia. U., Agus. F., Adimihardja. A., & Dariah. A. (2006). *Sifat fisik tanah dan metode analisisnya* Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian.
- Kusumaningtyas. R. D., Marwoto. P., & Wulandari. C. (2020). Utilization of tofu industrial liquid waste as organic fertilizer to support the alley garden project development. *Jurnal Abdimas*. 24(3). 200-204.
- Loh. S. K., Lai. M. E., & Ngatiman. M. (2019). Vegetative growth enhancement of organic fertilizer from anaerobically-treated palm oil mill effluent (POME) supplemented with chicken manure in food-energy-water nexus challenge. *Food and Bioproducts Processing*. 117. 95-104.
- Maharani. P. L., Pamoengkas. P., & Mansur. I. (2017). Pemanfaatan POME sebagai pupuk organik pada lahan pasca tambang batubara. *Jurnal Silvikultur Tropika*. 8(3). 177-182.
- Maheshwari. D. K., Dheeman. S., & Agarwal. M. (2014). Decomposition of organic materials into high value compost for sustainable crop productivity *Composting for Sustainable Agriculture* (pp. 245-267): Springer.
- Marques. J. D. d. O., Luizão. F. J., Teixeira. W. G., Vitel. C. M., & Marques. E. M. d. A. (2016). Soil organic carbon, carbon stock and their relationships to physical attributes under forest soils in central Amazonia. *Revista árvore*. 40. 197-208.
- Minasny. B., & McBratney. A. (2018). Limited effect of organic matter on soil available water capacity. *European Journal of Soil Science*. 69(1). 39-47.
- Moridi. A., Zarei. M., Moosavi. A. A., & Ronaghi. A. (2021). Effect of liquid organic fertilizers and soil moisture status on some biological and physical properties of soil. *Polish Journal of Soil Science*. 54(1). 41-55.
- Nesic. L. L., Vasin. J., Belic. M., Ciric. V., Gligorijevic. J., Milunovic. K., & Sekulic. P. (2015). The colloid fraction and cation exchange capacity in the soils of Vojvodina, Serbia. *Ratarstvo i povrtarstvo*. 52. 18-23. doi: 10.5937/ratpov52-7720
- Nhu. N. T. H., Chuen. N. L., & Riddech. N. (2018). The effects bio-fertilizer and liquid organic fertilizer on the growth of vegetables in the pot experiment. *Chiang Mai Journal of Science*. 45(3). 1257-1273.
- Nmaduka. N. J., Obioma. N. U., Victor. A. C., Chukwudi. O. C., & Juliet. O. C. (2018). Impact of palm oil mill effluent (POME) contamination on soil enzyme activities and physicochemical properties. *Research Journal of Environmental Toxicology*. 12(1). 34-41. doi: 10.3923/rjet.2018.34.41
- Nurmasyitah. Syafruddin. & Sayuthi. M. (2013). Pengaruh jenis tanah dan dosis fungi mikoriza arbuskular pada tanaman kedelai terhadap sifat kimia tanah. *Jurnal Agrista*. 17(3). 103-110.
- Oztekin. S., Mutlu. N., Atlintas. G., Oztekin. T., Gebloglu. N., Elmasas. M., Aydin. M., & Noyan. O. F. (2015). *Influence of organic fertilizers on soil physic properties*. Paper presented at the 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment. September 30 - October 3. Konya. Turkey.
- Paz. C. P., Goosem. M., Bird. M., Preece. N., Goosem. S., Fensham. R., & Lurance. S. (2016). Soil types influence predictions of soil carbon stock recovery in tropical secondary forests. *Forest Ecology and Management*. 376. 74-83. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.06.007>
- Purba. E. S. (2019). *Pengaruh lama fermentasi pupuk organik cair limbah cair tahu dan daun lamtoro dengan penambahan bioaktivator EM4 terhadap kandungan fosfor dan kalium total* (Skripsi). Program Studi Pendidikan Biologi Jurusan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. FKIP. Universitas Sanata Dharma. Yogyakarta.
- Raja. P. M., Giyanto. & Barus. S. (2021). Karakteristik kandungan unsur hara n, p dan k limbah cair kelapa sawit kolam anaerob dengan kontak kuantitas bentonit. *Jurnal Agrium*. 18(2). 95-101.
- Rosmalinda. & Susanto. A. (2018). Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dalam memperbaiki sifat kimia tanah gambut. *Jurnal Teknologi Agro-Industri*. 5(2). 58-65.

- Rukshana, F., Butterly, C., Xu, J.-M., Baldock, J., & Tang, C. (2014). Organic anion-to-acid ratio influences pH change of soils differing in initial pH. *Journal of Soils and Sediments*, 14, 407-414. doi: 10.1007/s11368-013-0682-6
- Saraswati, A. F. (2015). *Pemanfaatan limbah cair tahu sebagai bahan amelioran tanah dan pengaruhnya terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman caisin (Brassica juncea L.)* (Skripsi). Institut Pertanian Bogor.
- Sarker, T. C., Incenti, G., Spaccini, R., Piccolo, A., Mazzoleni, S., & Bonanomi, G. (2021). Linking organic matter chemistry with soil aggregate stability: insight from ¹³C NMR Spectroscopy. *Soil Biology & Biochemistry* 117, 175-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.11.011>
- Simbolon, F. W. (2017). *Peran kompos sampah kota dan ampas tebu dalam meningkatkan kandungan karbon, nitrogen dan fosfor tanah sub-optimal Haplustepts Reuleut Aceh Utara* (Skripsi). Fakultas Pertanian Universitas Malikussaleh.
- Sudhakaran, M., Ramamoorthy, D., Savitha, V., & Balamurugan, S. (2018). Organic carbon stock and its relationship with soil properties in coastal agroecosystem of Puducherry, India. *J. Indian Soc. Coastal Agric. Res.* 34(1), 11-17.
- Sulaeman, Suparto, & Eviati. (2005). *Petunjuk teknis analisis sifat kimia tanah, tanaman, air dan pupuk*. Bogor: Balai Penelitian Tanah, Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Ubani, S. C., Chukwudi, O., Okpashi, V. E., Osuji, C. A., & Nwadike, G. (2017). Palm oil mill effluent effect on soil fertility: a longitudinal assessment of Zea mays plant. *EQA-International Journal of Environmental Quality*, 23, 43-53.
- USDA. (2014). *Keys to soil taxonomy* (Vol. 12th Edition). Washington DC, USA.: NRCS, United States Department of Agriculture. .
- Vilkienė, M., Ambrazaitienė, D., Karčauskienė, D., & Dabkevičius, Z. (2016). Assessment of soil organic matter mineralization under various management practices. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 66(8), 641-646. doi: 10.1080/09064710.2016.1162845
- Walsh, E., & McDonnell, K. P. (2012). The influence of added organic matter on soil physical, chemical, and biological properties: a small-scale and short-time experiment using straw. *Archives of agronomy and soil science*, 58(sup1), S201-S205.
- Widari, N. S., Rasmito, A., & Rovidatama, G. (2020). Optimalisasi pemakaian starter EM4 dan lamanya fermentasi pada pembuatan pupuk organik berbahan limbah cair industri tahu. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(1), 1-7.
- Yan, Z., Zhang, W., Wang, Q., Liu, E., Sun, D., Liu, B., Liu, X., & Mei, X. (2022). Changes in soil organic carbon stocks from reducing irrigation can be offset by applying organic fertilizer in the North China Plain. *Agricultural water management*, 266, 107539.
- Yang, Y.-Y., Goldsmith, A., Herold, I., Lecha, S., & Toor, G. S. (2020). Assessing soil organic carbon in soils to enhance and track future carbon stocks. *Agronomy*, 10(8), 1139.
- Zaeni, A., Susilowati, P., & Rasmin, N. (2019). *Anaerobic digestion of solid and liquid organic waste with microorganism from manure*. Paper presented at the IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Zhang, Y., Wang, R., Peng, X., Zhang, Y., Ning, F., Xu, Z., Wang, Q., Dong, Z., Jia, G., Wei, L., & Li, J. (2021). Changes in soil organic carbon and total nitrogen in apple orchards in different climate regions on the Loess Plateau. *Catena*, 197, 104989. doi: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104989>
- Zuazo, V. H. D., Pleguezuelo, C. R. R., Távira, S. C., & Martínez, J. S. F. (2014). Linking soil organic carbon stocks to land-use types in a mediterranean agroforestry landscape. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 16(3), 667-679.