

Perubahan Beberapa Sifat Fisika Tanah Akibat Pemberian Limbah Cair Industri Kelapa Sawit

(Changes in Some Physical Properties of Soil As a Result of Giving Liquid Palm Oil Industry Waste)

Mhd Rizha Fahlevi¹, Manfarizah¹, Hairul Basri^{1*}

¹Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala

*corresponding author: hairulbasri@unsyiah.ac.id

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan beberapa sifat fisika dan kimia tanah akibat pemberian limbah cair industri kelapa sawit. Penelitian ini dilakukan di kebun PT Austindo Nusantara Jaya Agri Binanga kabupaten Padang Lawas Utara Sumatera Utara. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif dengan melakukan survey dan pengambilan sampel tanah dengan teknik zigzag, sampel tanah yang diambil adalah sampel tanah utuh dan tidak utuh dengan menggunakan ring sampel dan bor tanah. Selanjutnya dianalisis di laboratorium Fisika Tanah, selanjutnya data hasil analisis laboratorium dilakukan uji anova dengan menggunakan rancangan RAK non faktorial. Hasil analisis uji anova menunjukkan bahwa perlakuan yang dicobakan tidak berbeda nyata terhadap sifat fisika tanah yang diamati. Namun hasil pengamatan terhadap kelas masing masing parameter sifat fisika tanah khususnya untuk permeabilitas terjadi perubahan kelas dari agak lambat menjadi sedang. Sementara untuk parameter yang lain tidak terjadi perubahan kelas. Pemberian limbah cair kelapa sawit secara umum dapat merubah sifat kimia tanah seperti pH, C-organik, N-total, dan K-dd. Khusus untuk P-tersedia meningkat dari kelas sangat rendah menjadi sangat tinggi dengan nilai 59,85 ppm.

Kata kunci : Limbah Cair Industri Kelapa Sawit, Fisika Tanah, Kimia Tanah

Abstract. This study aims to determine changes in some physical and chemical properties of soil due to the provision of liquid waste from the palm oil industry. This research was conducted in the garden of PT Austindo Nusantara Jaya Agri Binanga, Padang Lawas Utara, North Sumatra. The method used in this research is a descriptive method by conducting surveys and soil sampling with zigzag technique, soil samples taken are intact and non-intact soil samples using ring samples and ground drill. Furthermore, it is analyzed in the Soil Physics laboratory, then the results of laboratory analysis data are carried out using ANOVA test using a non-factorial RCBD design. Anova test analysis results showed that the treatments tested were not significantly different from the physical properties of the soil observed. However, the results of observations of each class of the parameters of soil physical properties, especially for permeability, changes in class from slow to moderate. While for other parameters there is no change in class. The provision of palm oil liquid waste in general can change the soil chemical properties such as pH, C-organic, N-total, and K-dd. Especially for the P-available increased from very low class to very high with a value of 59.85 ppm.

Keywords: Palm Oil Industry Liquid Waste, Soil Physics, Soil Chemistry

PENDAHULUAN

Industri kelapa sawit banyak terdapat di negara tropis seperti Indonesia, Malaysia, dan Thailand. Prospek perkembangan industri kelapa sawit saat ini sangat pesat karena meningkatnya produksi kelapa sawit, sehingga berdampak pada peningkatan jumlah limbah yang dihasilkannya. Untuk itu perlu dikelola dengan baik, supaya tidak mencemari lingkungan. Proses pengolahan pabrik kelapa sawit menghasilkan limbah berupa cair dan padat yang umumnya pihak perkebunan mengaplikasikan ke areal sekitar perkebunan kelapa sawit melalui sistem kolam penampung limbah. Salah satu negara yang banyak memiliki perkebunan dan pabrik kelapa sawit adalah Indonesia, dengan demikian pabrik tersebut juga banyak menghasilkan limbah cair maupun padat, untuk menangani dampak yang disebabkan limbah cair kelapa sawit, maka limbah cair kelapa sawit dapat dimanfaatkan sebagai pupuk, bahan organik bagi tanaman dan dapat mengurangi biaya pengolahan. (Zulkarnain, 2014).

Hasil akhir dari pengolahan industri minyak kelapa sawit berupa limbah cair yang dihasilkan dari kegiatan industri pengolahan minyak sawit merupakan sisa dari proses pembuatan minyak sawit yang berbentuk cair. Limbah ini masih banyak dibutuhkan oleh tanah dan tanaman. Limbah cair ini biasanya digunakan sebagai pupuk alternatif di lahan perkebunan kelapa sawit yang sering disebut *Land application*. Menurut Musnamar (2005), limbah tersebut memiliki unsur hara N-total 500 - 900 mg L⁻¹, P-total 90 - 140 mg L⁻¹, K-total 1.000 - 2.000 mg L⁻¹, Ca-total 260 - 400 mg L⁻¹, dan Mg-total 250 - 350 mg L⁻¹. Limbah cair kelapa sawit telah banyak digunakan di perkebunan kelapa sawit baik perusahaan negara maupun swasta. Penggunaan limbah cair tidak menimbulkan pengaruh yang buruk terhadap kualitas air tanah di sekitar areal aplikasinya.

Hasil penelitian Litbang Deptan (2008) sebelum diberikan ketanaman limbah cair harus diolah terlebih dahulu karena limbah cair memiliki kadar pencemaran yang tinggi. Teknis pemanfaatannya dilakukan dengan metode *land application* dan dosis ditentukan oleh jumlah kapasitas tandan buah segar yang diolah. Aplikasi lahan (*land application*) adalah pemanfaatan limbah cair dari industri kelapa sawit yang digunakan sebagai bahan penyubur atau pemupukan tanaman kelapa sawit dalam areal perkebunan kelapa sawit itu sendiri. Limbah cair pabrik kelapa sawit yang digunakan sebagai *land application* adalah limbah cair yang sudah diolah sedemikian rupa sehingga kadar *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) 3.500 - 5.000 mg L⁻¹ dan *Chemical Oxygen Demand* (COD) 3.500 - 5.745 mg L⁻¹ dapat menyumbangkan hara N, P dan K. Tetapi pemanfaatannya harus terus ditinjau agar tidak melebihi kemampuan daya dukung lahan perkebunan. Apabila jumlah limbah cair yang dialirkan ke lahan perkebunan melampaui batas kemampuannya, maka yang terjadi adalah pencemaran air tanah (Raharjo, 2009).

Menurut penelitian yang dilakukan Ketaren (2010), pemberian limbah cair pabrik kelapa sawit dapat memperbaiki sifat tanah yaitu menurunkan bulk density sebesar 0,83 gcm⁻³, meningkatkan total ruang pori tanah sebesar 66,6% dan meningkatkan laju permeabilitas sebesar 1,133 cm jam⁻¹. Sifat fisika tanah merupakan sifat yang berhubungan dengan tekstur, struktur, porositas, stabilitas, konsistensi warna dan suhu tanah yang berperan dalam aktivitas akar tanaman, baik dalam hal penyerapan nutrisi, air dan oksigen serta membatasi pergerakan akar tanaman (Hakim *et al.*, 1986).

Berdasarkan kajian tentang limbah cair pabrik kelapa sawit tersebut, maka perlu dilakukan kajian mengenai perubahan sifat fisika tanah akibat pemberian limbah cair industri kelapa sawit.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan beberapa sifat fisika tanah akibat pemberian limbah cair industri kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di kebun kelapa sawit PT. ANJ Agri Binanga Kabupaten Padang Lawas Utara Sumatera Utara. Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah dan Lingkungan dan Laboratorium Penelitian Tanah dan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala. Penelitian ini dilaksanakan pada Januari sampai Maret 2019. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah, cangkul, ring sampel, pisau, palu, kantong plastik, kertas label, kamera, alat tulis, serta alat - alat untuk menganalisis sifat fisika tanah dan kimia tanah di laboratorium. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sampel tanah utuh dari lahan aplikasi limbah cair dan dari lahan yang tidak diaplikasikan, serta bahan untuk menganalisis sifat fisika tanah di laboratorium.

Penelitian ini menggunakan metode survei lapangan dan uji tanah di laboratorium. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu persiapan awal, Pada tahap ini diadakan pertemuan dengan manajemen perkebunan untuk perizinan penelitian, mengumpulkan informasi terkait kondisi lokasi penelitian dan menentukan lokasi pengambilan sampel tanah. Pengambilan sampel tanah berdasarkan posisi lahan yaitu pada lahan yang diaplikasikan limbah cair kelapa sawit (L) dan lahan yang tidak diaplikasikan limbah cair kelapa sawit (kontrol) di PT ANJ Agri Binanga, Padang Lawas Utara, Sumatera Utara. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan teknik Zigzag, yaitu dilaksanakan dengan menentukan titik yang akan digunakan sebagai tempat pengambilan sampel tanah secara Zigzag. Pengambilan sampel tanah utuh menggunakan ring sampel pada kedalaman 0-20 cm. Pengambilan sampel tanah utuh dilakukan sebanyak 9 titik sampel, setiap titik diambil dengan 2 kali ulangan. Maka total sampel tanah utuh yang diperoleh sebanyak 18 sampel tanah. Pada lokasi yang tidak diaplikasikan limbah cair atau kontrol (K), pengambilan sampel tanah dilakukan antara setiap tanaman sawit dengan tanaman sawit lainnya atau yang disebut (gawangan mati). Pengambilan sampel tanah utuh dilakukan sebanyak 3 titik sampel, setiap titik diambil dengan 2 kali ulangan. Maka total sampel tanah utuh yang diperoleh sebanyak 6 sampel tanah.

Parameter sifat fisika tanah yang akan dianalisis di laboratorium dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Sifat Fisika Tanah dan Metode Analisis di Laboratorium

No	Parameter	Satuan	Metode Analisis
1	Berat Isi Tanah	g cm^{-3}	Ring Sampel (Core)
2	Porositas Total	%	Gravimetri
3	Kadar Air	% volume	Kering oven (105°C)
4	Permeabilitas	cm/jam^{-1}	Volumetrik

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Sifat Fisika Tanah

Hasil analisis uji anova menunjukkan bahwa perlakuan yang dicobakan tidak berbeda nyata terhadap sifat fisika tanah yang diamati. Namun hasil pengamatan terhadap kelas masing masing parameter sifat fisika tanah khususnya untuk permeabilitas terjadi perubahan kelas dari agak lambat menjadi sedang. Sementara untuk parameter yang lain tidak terjadi perubahan kelas. Uraian detail untuk seluruh parameter sifat fisika tanah yang diamati sebagai berikut.

Bulk Density

Hasil analisa sifat fisika tanah untuk nilai *bulk density* disajikan pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Hasil Analisis *Bulk Density* pada Lahan yang Tidak Diaplikasikan Limbah Cair Kelapa Sawit (K).

No	Kode Sampel	Bulk density (g cm ⁻³)	Kelas
1	K1T1	1,24	Tinggi
2	K1T2	1,26	Tinggi
3	K2T1	1,38	Tinggi
4	K2T2	1,30	Tinggi
5	K3T1	1,24	Tinggi
6	K3T2	1,34	Tinggi

Tabel 3. Hasil Analisis *Bulk Density* pada Lahan yang Diaplikasikan Limbah Cair Kelapa Sawit (L).

No	Kode Sampel	Bulk density (g cm ⁻³)	Kelas
1	L1T1	1,28	Tinggi
2	L1T2	1,34	Tinggi
3	L2T1	1,41	Sangat Tinggi
4	L2T2	1,28	Tinggi
5	L3T1	1,29	Tinggi
6	L3T2	1,38	Tinggi
7	L4T1	1,24	Tinggi
8	L4T2	1,34	Tinggi
9	L5T1	1,32	Tinggi
10	L5T2	1,30	Tinggi
11	L6T1	1,32	Tinggi
12	L6T2	1,34	Tinggi
13	L7T1	1,24	Tinggi
14	L7T2	1,27	Tinggi
15	L8T1	1,32	Tinggi
16	L8T2	1,28	Tinggi
17	L9T1	1,33	Tinggi
18	L9T2	1,28	Tinggi

Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai *bulk density* pada tanah yang tidak diaplikasikan limbah cair kelapa sawit (K) tergolong tinggi, dengan nilai tertinggi terdapat pada K3T1 (1,38 g cm⁻³), sedangkan pada lahan yang diaplikasikan limbah cair kelapa sawit (L) nilai *bulk density* pada Tabel 3 menunjukkan adanya sedikit peningkatan, dengan nilai tertinggi pada L2T1 (1,41 g cm⁻³) tergolong kelas sangat tinggi. Hal ini diduga karena pemadatan saat pemanenan dan masuknya alat berat saat pembuatan *flat bed*, selain itu lamanya waktu pemberian limbah cair juga mempengaruhi perubahan nilai *bulk density*. aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit ke tanah hanya memberikan pengaruh kepada permeabilitas tanah, tidak berpengaruh terhadap sifat fisika tanah lainnya seperti *bulk density*, kadar air, dan porositas, ada kecenderungan makin lama limbah cair pabrik kelapa sawit diaplikasikan dapat memperbaiki sifat fisika tanahnya. Hal ini sejalan dengan penelitian Wahyuningsih *et al.*, (2006) bahwa aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit ke tanah selama 12, 13, dan 14 tahun hanya memberikan pengaruh kepada permeabilitas tanah, tidak berpengaruh terhadap sifat fisika tanah lainnya seperti *bulk density*, kadar air, dan porositas. Ada kecenderungan makin lama limbah cair pabrik kelapa sawit diaplikasikan dapat memperbaiki sifat fisika tanahnya.

Kadar Air Tanah

Hasil analisis sifat fisika tanah untuk nilai kadar air tanah disajikan pada Tabel 4 dan 5.

Tabel 4. Hasil Analisis Kadar Air pada Lahan yang Tidak Diaplikasikan Limbah Cair Kelapa Sawit (K)

No	Kode Sampel	Kadar Air Tanah (%)	Kelas
1	K1T1	26,58	Sangat Tinggi
2	K1T2	26,85	Sangat Tinggi
3	K2T1	30,45	Sangat Tinggi
4	K2T2	25,56	Sangat Tinggi
5	K3T1	27,12	Sangat Tinggi
6	K3T2	27,25	Sangat Tinggi

Tabel 5. Hasil Analisis Kadar Air Tanah pada Lahan yang Diaplikasikan Limbah Cair Kelapa sawit (L)

No	Kode Sampel	Kadar Air Tanah (%)	Kelas
1	L1T1	28,32	Sangat Tinggi
2	L1T2	27,54	Sangat Tinggi
3	L2T1	27,58	Sangat Tinggi
4	L2T2	27,00	Sangat Tinggi
5	L3T1	27,25	Sangat Tinggi
6	L3T2	30,14	Sangat Tinggi
7	L4T1	26,24	Sangat Tinggi
8	L4T2	27,26	Sangat Tinggi
9	L5T1	25,62	Sangat Tinggi
10	L5T2	25,85	Sangat Tinggi
11	L6T1	26,71	Sangat Tinggi
12	L6T2	26,58	Sangat Tinggi
13	L7T1	27,23	Sangat Tinggi
14	L7T2	26,51	Sangat Tinggi
15	L8T1	27,52	Sangat Tinggi
16	L8T2	29,00	Sangat Tinggi
17	L9T1	30,21	Sangat Tinggi
18	L9T2	28,24	Sangat Tinggi

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai kadar air tanah pada tanah yang tidak diaplikasikan limbah cair kelapa sawit (K) tergolong sangat tinggi dengan nilai tertinggi pada K2T1 (30,45 %), sedangkan pada tanah yang diaplikasikan limbah cair kelapa sawit tidak terjadi perubahan pada nilai kadar air tanahnya tetap tergolong sangat tinggi, dengan nilai tertinggi terdapat pada L9T1 (30,21 %). Hal ini diduga karena nilai kadar air pada tanah sebelum diaplikasikan limbah cair sudah tergolong sangat tinggi sehingga tidak mempengaruhi kadar air tanahnya.

Arsyad (2010), menyatakan apabila tanah dengan ketersediaan air yang cukup, air akan masuk ke tanah yang lebih dalam. Ketika tanah kering, dan kemudian turun hujan, laju infiltrasi akan besar dan cepat, tetapi akan segera menurun ke konstan. Infiltrasi ketika tanah tidak jenuh dipengaruhi oleh adanya hisapan matriks yang akan terus berkurang sampai tanah jenuh.

Permeabilitas

Hasil analisis sifat fisika tanah untuk nilai permeabilitas tanah disajikan pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Hasil Analisis Permeabilitas pada Lahan yang Tidak Diaplikasikan Limbah Cair Kelapa Sawit (K)

No	Kode Sampel	Permeabilitas (cm jam ⁻¹)	Kelas
1	K1T1	1,34	Agak Lambat
2	K1T2	1,47	Agak Lambat
3	K2T1	1,85	Agak Lambat
4	K2T2	1,74	Agak Lambat
5	K3T1	1,52	Agak Lambat
6	K3T2	1,32	Agak Lambat

Tabel 7. Hasil Analisis Permeabilitas pada Lahan yang Diaplikasikan Limbah Cair Kelapa Sawit (L)

No	Kode Sampel	Permeabilitas (cm jam ⁻¹)	Kelas
1	L1T1	4,25	Sedang
2	L1T2	3,43	Sedang
3	L2T1	3,28	Sedang
4	L2T2	4,32	Sedang
5	L3T1	3,52	Sedang
6	L3T2	1,62	Agak Lambat
7	L4T1	1,59	Agak Lambat
8	L4T2	3,41	Sedang
9	L5T1	1,56	Agak Lambat
10	L5T2	1,62	Agak Lambat
11	L6T1	1,54	Agak Lambat
12	L6T2	3,47	Sedang
13	L7T1	1,52	Agak Lambat
14	L7T2	1,62	Agak Lambat
15	L8T1	1,56	Agak Lambat
16	L8T2	4,27	Sedang
17	L9T1	4,52	Sedang
18	L9T2	3,54	Sedang

Tabel 6 menunjukkan bahwa nilai permeabilitas pada tanah yang tidak diaplikasikan limbah cair kelapa sawit (K) tergolong agak lambat, dengan nilai tertinggi pada titik K2T1 (1,85 cm jam⁻¹), sedangkan pada lahan yang diaplikasikan limbah cair pada Tabel 7 nilai permeabilitasnya tergolong sedang dengan nilai tertinggi pada titik L9T1 (4,52 cm jam⁻¹). Adanya perubahan nilai permeabilitas pada tanah yang diaplikasikan, diduga karena limbah cair yang diberikan mengandung bahan organik yang dapat memperbaiki pori-pori makro sehingga memperbesar kecepatan pergerakan aliran air kebawah tanah sehingga permeabilitas menjadi lebih cepat.

Hal ini sesuai dengan pendapat Musnamar (2005), yang menyatakan pupuk organik dapat memperbaiki struktur tanah sehingga daya ikat air menjadi tinggi, meningkatnya daya ikat tanah terhadap unsur hara serta drainase dan tata udara tanah menjadi lebih baik. Hal ini sejalan dengan Ketaren (2010), menyatakan bahwa aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit berpengaruh meningkatkan laju permeabilitas tanah pada perlakuan *flatbed* dan lahan sela sebesar 1,133 cm jam⁻¹.

Porositas (%)

Hasil analisis sifat fisika tanah untuk nilai porositas tanah disajikan pada Tabel 8 dan 9.

Tabel 8. Hasil Analisis Porositas pada Lahan yang Tidak Diaplikasi Limbah Cair Kelapa Sawit (K).

No	Kode Sampel	Porositas (%)	Kelas
1	K1T1	52,31	Baik
2	K1T2	51,54	Baik
3	K2T1	46,92	Kurang Baik
4	K2T2	50,00	Baik
5	K3T1	52,31	Baik
6	K3T2	48,46	Kurang Baik

Tabel 9. Hasil Analisis Porositas pada Lahan yang Diaplikasi Limbah Cair Kelapa Sawit (L)

No	Kode Sampel	Porositas (%)	Kelas
1	L1T1	50,77	Baik
2	L1T2	48,46	Kurang Baik
3	L2T1	45,77	Kurang Baik
4	L2T2	50,77	Baik
5	L3T1	50,38	Baik
6	L3T2	46,92	Kurang Baik
7	L4T1	52,31	Baik
8	L4T2	48,46	Kurang Baik
9	L5T1	49,23	Kurang Baik
10	L5T2	50,00	Baik
11	L6T1	49,23	Kurang Baik
12	L6T2	48,46	Kurang Baik
13	L7T1	52,31	Baik
14	L7T2	51,15	Baik
15	L8T1	49,23	Kurang Baik
16	L8T2	50,77	Baik
17	L9T1	48,85	Kurang Baik
18	L9T2	50,77	Baik

Tabel 8 menunjukkan bahwa bahwa nilai porositas pada tanah yang tidak diaplikasikan limbah cair kelapa sawit (K) tergolong baik dengan nilai tertinggi pada K1T1 dan K3T1 (52,31 %), sedangkan pada tanah yang diaplikasikan limbah cair kelapa sawit tidak terjadi perubahan, nilai porositasnya tetap tergolong baik dengan nilai tertinggi terdapat pada L4T1 dan L7T1 (52,31 %). Tidak terjadinya perubahan pada nilai porositas tanah diduga karena nilai porositas sebelum diaplikasikan limbah cair sudah tergolong baik, selain itu lamanya waktu pemberian limbah cair juga mempengaruhi perubahan nilai porositasnya.

Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit hanya menunjukkan pengaruh kepada permeabilitas tanah, dan aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit tidak berpengaruh terhadap sifat fisika tanah lainnya seperti *bulk density*, kadar air, dan porositas, namun ada kecenderungan makin lama limbah cair pabrik kelapa sawit diaplikasikan dapat memperbaiki sifat fisika tanah (Wahyuningsih *et al.*, 2006).

KESIMPULAN DAN SARAN

Pemberian limbah cair kelapa sawit secara umum tidak merubah sifat fisika tanah seperti *bulk density*, kadar air tanah dan porositas, kecuali permeabilitas yang kelas nya berubah dari agak lambat menjadi sedang dengan nilai 4, 52 cm jam⁻¹. Aplikasi limbah cair

pabrik kelapa sawit dapat diterapkan sebagai salah satu alternatif usaha dalam memperbaiki sifat fisika tanah untuk waktu yang lama dan dapat di kombinasikan dengan bahan organik lain. Namun masih perlu pengkajian lebih jauh tentang unsur berbahaya yang terkandung pada limbah cair pabrik kelapa sawit.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad,S. 2010. Konservasi Tanah dan Air. Insitut Pertanian Bogor, Bogor.
- Hakim, N., Nyakpa, M.Y., Lubis, A.M., Nugroho, S.G., Diha, M.A., Hong, G.B.,Bailey, H.H. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Universitas Lampung, Bandar Lampung.
- Ketaren, E.F. 2010. Evaluasi sifat fisik, ph, dan c-organik tanah akibat aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit di PT. Smart Padang Halaban Kabupaten Labuhan Batu Utara. Skripsi. Departemen Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Litbang Departemen Pertanian. 2008. Kandungan Unsur Hara dalam Limbah Cair Industri Kelapa Sawit. Primatani. Litbang. Deptan.
- Musnamar, E. 2005. Pupuk Organik Cair dan Padat, Pembuatan dan Pengaplikasiannya. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Raharjo P.N. 2009. Studi Banding Teknologi Pengolahan Limbah cair Pabrik Kelapa Sawit. Jurnal Teknologi Lingkungan. 10 (1) : 09-18.
- Wahyuningsih, H., Mukhlis, D. Suryanto, dan R. Widhiastuti. 2006. Pengaruh pemanfaatan limbah cair pabrik pengolahan kelapa sawit sebagai pupuk terhadap biodiversitas tanah. Jurnal Ilmiah Pertanian Kultura. 41 (1) : 1-8.
- Zulkarnain. 2014. Perubahan beberapa sifat kimia tanah akibat pemberian limbah cair industri kelapa sawit dengan metode land application. Jurnal Agrifor. 13 (1) : 125-130.