



*Prosiding Seminar Nasional Pertanian Pesisir (SENATASI)  
Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu*

**PENGARUH LAND APLIKASI LIMBAH CAIR PABRIK KELAPA SAWIT  
TERHADAP KARAKTERISTIK FISIK TANAH ULTISOL DI KECAMATAN  
KARANG TINGGI KABUPATEN BENGKULU TENGAH PROVINSI BENGKULU**

*The impact of land application of palm oil mill effluents on physical soil characteristics in the district  
Karang Tinggi, Bengkulu Tengah Regency, Province of Bengkulu*

**Sukisno<sup>1\*</sup> dan Wahyudi Arianto<sup>3</sup>**

<sup>1)</sup>Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu

<sup>2)</sup>Program Studi Kehutanan, Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu

\*Corresponding author : sukisno@unib.ac.id

**ABSTRAK**

Limbah cair pabrik kelapa sawit berpotensi menjadi sumber nutrisi alternatif bagi tanaman kelapa sawit. Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit ke lahan, berdampak positif bagi tanah dan tanaman. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur dampak aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit pada lahan terhadap berat volume tanah, permeabilitas tanah, porositas tanah, dan tekstur tanah. Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dilakukan dengan mengalirkan limbah tersebut dari kolam pengendapan ke lahan yang telah dibuat parit (rorak). Setelah enam bulan aplikasi, dilakukan pengukuran berat volume, permeabilitas, porositas, dan tekstur tanah pada lahan yang diberi perlakuan (rorak), lahan antar rorak, dan kontrol, pada kedalaman tanah 0-30 cm dan 30-60 cm. Hasil analisis menunjukkan bahwa lahan dengan aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit memiliki berat volume lebih tinggi dibandingkan pada kontrol, tetapi lebih rendah dari lahan antar rorak, baik lapisan 0-30 cm maupun 30-60 cm. Porositas tanah pada lahan rorak lebih tinggi dibandingkan pada lahan antar rorak, tetapi lebih rendah dibandingkan pada lahan kontrol. Demikian juga untuk permeabilitas tanah, permeabilitas tanah pada rorak lebih tinggi dibandingkan pada lahan antar rorak, tapi lebih rendah dibandingkan kontrol. Sementara itu, tekstur tanah tidak terpengaruh oleh aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit. Nilai permeabilitas tanah merupakan salah satu syarat izin boleh tidak dilakukannya aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit pada lahan. Hasil pengukuran menunjukkan nilai permeabilitas tanah di lokasi masih berada pada rentang nilai yang diizinkan untuk melakukan aplikasi lahan limbah cair pabrik kelapa sawit, yaitu 1,87 cm/jam pada top soil dan 4,75 cm/jam. Ambang batas toleransi permeabilitas tanah untuk land aplikasi adalah 1,5 cm/jam – 15 cm/jam. Oleh karena itu, aplikasi pada lahan limbah cair pabrik kelapa sawit masih diperbolehkan, sesuai dengan peraturan pemerintah, dan juga harus mempertimbangkan dampak lainnya terhadap sifat kimia dan biologi tanah.

---

Kata Kunci : berat volume, permeabilitas tanah, porositas tanah, tekstur tanah

### ABSTRACT

Palm oil mill effluents are proposed as fertilizer alternatives in palm oil plantations. Land application of palm oil mill effluents contributed to soil and plants. This research aimed to measure the impact of land application of palm oil mill effluents on bulk density, soil permeability, soil porosity, and soil texture. The application of palm oil mill effluents was carried out by channeling the palm oil mill effluents from the settling ponds to the land that has been made into trenches (rorak). After six months of application, bulk density, permeability, porosity, and soil texture were measured on the rorak, land between rorak, and controls, at soil depths of 0-30 cm and 30-60 cm. The results showed that bulk density in the rorak was higher than in the control but lower than in the land between the rorak, both 0-30 cm and 30-60 cm layers. Soil porosity on the rorak was higher than on the land between rorak but lower than on the control. Soil permeability on the rorak was higher than on the land between rorak but lower than control. Meanwhile, soil texture was not affected by the application of palm oil mill effluent. The soil permeability was one of the requirements for land application of palm oil mill effluents. The results also indicated that soil permeability at the location is still within the range of values permitted for land application of palm oil mill effluents, 1,87 cm/hour at the top soil and 4,75 at the sub soil. The range of permeability for land application is 1,5 cm/hour – 15 cm/hour. Therefore, the land application of palm oil mill effluent on the land physically allowed, complied to the government regulation; however, the other impact on soil chemical and biological characteristics should be carefully considered.

---

Key word : bulk density, permeability, soil porosity, soil texture

### PENDAHULUAN

Selama beberapa dua dekade terakhir, kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) memiliki peranan yang sangat penting di Indonesia. Tanaman kelapa sawit telah dibudidayakan secara intensif dengan total luas sekitar 14,6 juta ha pada tahun 2021, meningkat sangat drastis dari sekitar 9,1 juta ha pada tahun 2011 (BPS, 2023). Peningkatan luas tanam kelapa sawit tidak terlepas dari dukungan pemerintah dalam memberikan izin konsesi kebun kelapa sawit, juga minat masyarakat yang semakin tinggi. Pada saat ini, Indonesia merupakan negara pengekspor CPO (*crude palm oil*) terbesar di dunia, dengan rata-rata produksi TBS (tandan buah segar) sekitar 256,6 juta ton, meningkat signifikan dari 41 juta ton tahun 2001 dan 157,3 juta ton tahun 2011. Keberadaan kelapa sawit di Indonesia sangat berpengaruh terhadap peningkatan pertumbuhan ekonomi nasional (FAOSTAT, 2023).

Kelapa sawit merupakan tanaman yang sangat penting sebagai penghasil bahan pangan di Indonesia. Kelapa sawit merupakan sumber minyak nabati, yang oleh sebagian besar masyarakat Indonesia dimanfaatkan sebagai minyak goreng, margarin, dan lain sebagainya. Minyak kelapa sawit juga merupakan bahan industri seperti untuk bahan kosmetik, industri sabun, resin, tinta, methyl ester, dan lain sebagainya. Sebagai komoditas yang sangat penting, keberadaan kelapa sawit turut meningkatkan kesejahteraan petani (Tabe-Ojong *et al.*, 2023; Kubitza *et al.*, 2018).

Perluasan lahan kelapa sawit memiliki dampak bagi lingkungan. Secara umum, perluasan kebun kelapa sawit sering dikaitkan dengan deforestasi. Pertambahan luas

kebun kelapa sawit berbanding terbalik dengan luas kawasan hutan. selama periode 1995-2015, laju pertambahan luas kebun kelapa sawit sekitar 450.000 ha per tahun, sementara laju deforestasi sekitar 117.000 ha per tahun. Rata-rata laju deforestasi karena pembukaan lahan perkebunan cenderung menurun, dari 54% pada periode 1995-2000 menjadi 18% pada periode 2010-2015 (Austin *et al.*, 2017). Keberadaan perusahaan perkebunan kelapa sawit memiliki peran yang sangat penting berkaitan dengan konflik sumber daya lahan, terutama antara pemerintah, masyarakat, dan perusahaan pada konflik perubahan kawasan hutan menjadi kawasan perkebunan (Prabowo *et al.*, 2017). Interaksi antara faktor ekonomi dan politik menjadi faktor yang mempengaruhi perubahan penggunaan lahan hutan menjadi perkebunan kelapa sawit (Cisneros *et al.*, 2021). Perluasan kebun kelapa sawit juga berdampak pada meningkatnya emisi gas rumah kaca dan konflik sosial (Shaputra dan Zen, 2018).

Seiring dengan meningkatnya luas perkebunan kelapa sawit, baik sawit rakyat maupun perusahaan perkebunan, jumlah pabrik kelapa sawit juga mengalami peningkatan. Peningkatan aktivitas pabrik kelapa sawit, akan disertai dengan peningkatan limbah pabrik kelapa sawit. Dalam proses untuk menghasilkan satu ton CPO, diperlukan lebih dari lima ton air, dan sekitar 50% dari air yang digunakan dalam proses tersebut akan menjadi limbah cair pabrik kelapa sawit. Limbah cair pabrik kelapa sawit lebih tercemar dibandingkan dengan limbah perkotaan karena memiliki *biochemical oxygen demand* (BOD) dan *chemical oxygen demand* (COD) yang tinggi (Kamyab *et al.*, 2018).

Limbah cair pabrik kelapa sawit memiliki kandungan bahan organik yang tinggi sehingga sangat potensial dijadikan alternatif sumber nutrisi di lahan. Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit ke lahan pertanian, merupakan salah satu cara mengelola limbah tersebut sehingga limbah tersebut dapat dimanfaatkan sebagai alternatif sumber nutrisi bagi tanaman. Regulasi tentang aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit di lahan pertanian diatur dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 tahun 2021. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur berat volume, permeabilitas, porositas, dan tekstur tanah yang diberi aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Karang Tinggi, Kabupaten Bengkulu Tengah, Provinsi Bengkulu, dari Januari sampai Desember 2022. Sampel tanah diambil dari tanah pada lahan yang diberi perlakuan aplikasi limbah cair pabrik minyak kelapa sawit (PMKS) dan tanah pada lahan yang tidak diberi perlakuan aplikasi limbah cair PMKS.

### Prosedur Penelitian

Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit pada lahan merujuk pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia No.5 tahun 2021 tentang tata cara penerbitan persetujuan teknis dan surat kelayakan operasional bidang pengendalian pencemaran lingkungan. Limbah cair pabrik kelapa sawit diaplikasikan ke lahan melalui saluran drainase/parit, yang dikenal dengan nama rorak. Setelah 6 (enam) bulan aplikasi, rorak dikeringkan, untuk selanjutnya dilakukan pengambilan sampel tanah utuh pada kedalaman 0-

30 cm dan 30-60 cm, dan tanah terganggu pada kedalaman 0-20 cm, 20-40 cm, 40-60 cm, 60-80 cm, 80-100 cm, dan 100-120 cm. Sampel tanah juga diambil pada lahan di antara lorak, dan pada lahan yang tidak diberi perlakuan land aplikasi limbah cair PMKS.

### **Variabel yang diamati**

Analisis tanah dilakukan di Laboratorium Ilmu Tanah IPB *University*. Variabel pengamatan meliputi berat volume tanah (BV), porositas, permeabilitas, dan tekstur tanah.

### **Analisis Data**

Data hasil analisis laboratorium dianalisis secara deskriptif dengan membandingkan karakteristik fisik tanah pada lahan yang diberi perlakuan land aplikasi limbah cair PMKS dengan lahan yang tidak diberi perlakuan. Sampel tanah pada lahan yang diberi perlakuan ada dua, yaitu sampel tanah pada lorak (saluran/parit aplikasi) dan lahan antar lorak.

## **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit berpotensi menurunkan kualitas lingkungan jika limbah tersebut mencapai sistem perairan sebelum terurai ke bentuk yang tidak membahayakan. Secara alami, transfer limbah tersebut akan terjadi secara vertikal dan horizontal. Secara horizontal melalui aliran permukaan sedangkan secara vertikal melalui aliran perkolasi.

Untuk mengurangi laju aliran permukaan, maka aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit dapat dilakukan dengan membuat kolam-kolam penampungan sementara berupa parit-parit yang dapat menahan laju aliran permukaan. Akibatnya, terdapat kecenderungan peningkatan sejumlah unsur kimiawi tanah semakin meningkat secara vertikal (ke dalam tanah) karena transfer material secara vertikal melalui air perkolasi.

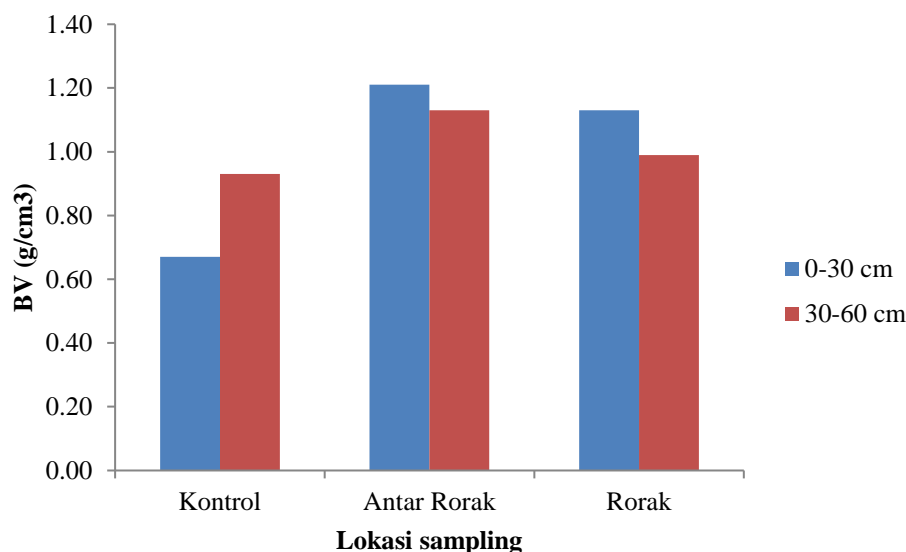
Berat tanah, porositas, dan infiltrasi merupakan sifat fisik tanah yang berkaitan erat dengan kemampuan tanah dalam melewatkan air. Berat volume merupakan bobot per satuan volume tanah, mengindikasikan bobot tanah dalam setiap satuan volume tanah. Semakin tinggi nilai BV, tanah semakin padat (mampat) sehingga kemampuannya dalam melewatkan air semakin kecil. Demikian juga sebaliknya, semakin kecil nilai BV, semakin porous tanah tersebut, sehingga kemampuannya dalam melewatkan air semakin tinggi. Sementara itu, porositas berkaitan erat dengan persentase ruang pori di dalam tanah. Semakin tinggi nilai porositas, semakin tinggi kemampuan tanah dalam melewatkan air secara vertikal. Nilai porositas berbanding terbalik dengan nilai BV berkaitan dalam kemampuannya melewatkan air.

Secara umum, aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit berpotensi menyebabkan peningkatan nilai BV tanah pada lapisan subsoil. Hal ini dikarenakan infiltrasi air akan menyebabkan pemadatan lapisan bawah karena aliran air tersebut membawa partikel tanah yang akan mengisi ruang pori tanah lapisan bawah. Kondisi tersebut akan menyebabkan porositas (ruang pori) tanah lapisan bawah juga semakin kecil. Akibatnya kemampuan tanah dalam melewatkan air (permeabilitas) pada tanah lapisan bawah juga semakin kecil. Hasil analisis BV, porositas dan permeabilitas tanah di lokasi kajian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai BV, porositas dan permeabilitas di lokasi kajian

Perlakuan	BV (g/cm <sup>3</sup> )		Porositas (%)		Permeabilitas (cm/jam)	
	Kedalaman Tanah (cm)		Kedalaman Tanah (cm)		Kedalaman Tanah (cm)	
	0-30	30-60	0-30	30-60	0-30	30-60
Kontrol	0,67	0,93	74,79	65,06	8,50	5,69
Antar Rorak	1,21	1,13	54,42	57,36	1,81	2,95
Rorak	1,13	0,99	57,53	62,75	1,87	4,75

Berat volume (BV) merupakan salah satu sifat fisik tanah yang menunjukkan berat tanah per satuan volume tanah (gcm<sup>-3</sup>). Berat volume tanah merupakan salah satu sifat fisik tanah yang paling sering ditentukan, karena keterkaitannya yang erat dengan kemudahan penetrasi akar di dalam tanah, drainase dan aerasi tanah, serta sifat fisik tanah lainnya (Safitri *et al.*, 2022). Nilai BV mengindikasikan kepadatan tanah. Semakin besar nilai BV, semakin padat dan mampat tanah tersebut. Secara umum, BV tanah semakin besar seiring bertambahnya kedalaman lapisan tanah. Nilai BV pada lahan terbuka akan lebih tinggi dibandingkan nilai BV pada lahan dengan kerapatan penutup lahan tinggi (Leonika *et al.*, 2021). Hasil analisis menunjukkan bahwa BV pada lahan kontrol lapisan bawah (30-60 cm) lebih besar dibandingkan pada lapisan atas (0-30 cm). Nilai BV pada rorak hampir sama dengan nilai BV pada lahan antar rorak karena berasal dari satuan lahan yang sama, namun berbeda posisi, satu pada parit/rorak, satunya pada lahan yang terletak antara dua rorak. Nilai BV pada rorak lebih rendah dibandingkan pada lahan antar rorak karena secara fisik terjadi proses penghancuran struktur tanah pada rorak pada saat pembuatan rorak. Nilai BV pada lokasi penelitian disajikan pada Gambar 2.

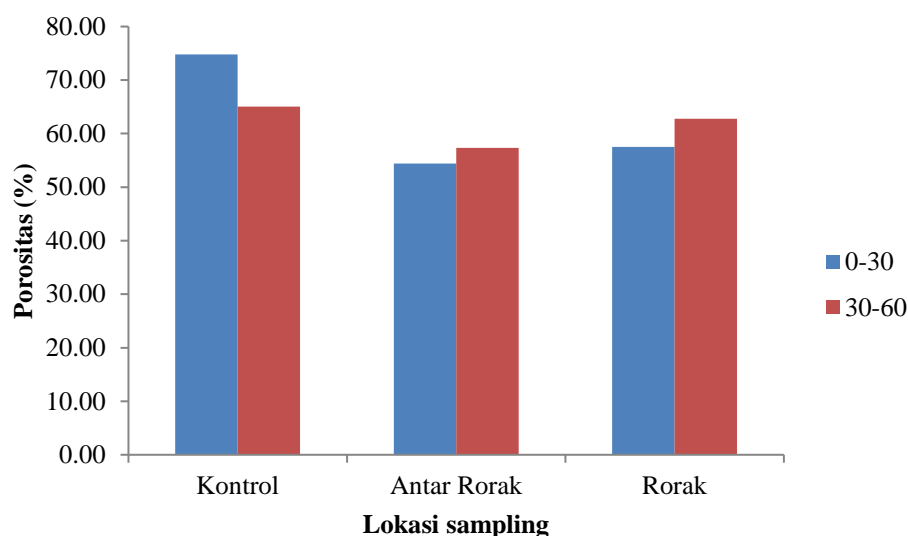


Gambar 2. Nilai BV di lokasi kajian

Nilai BV pada lahan rorak dan antar rorak, lapisan 30-60 cm lebih rendah dibandingkan pada lapisan 0-30 cm. Hal ini mengindikasikan bahwa lapisan bawah pada lahan tersebut lebih gembur dibandingkan lapisan atas. Kondisi tersebut memungkinkan laju infiltrasi air lebih tinggi pada lapisan bawah. Rendahnya nilai BV lapisan bawah dibandingkan lapisan atas mungkin disebabkan oleh pengaruh proses pembuatan parit/rorak yang menghancurkan tanah, dan proses

aplikasi limbah cair PMKS belum secara signifikan mempengaruhi pemadatan lapisan bawah tanah pada lahan rorak dan antar rorak.

Porositas menunjukkan persentase ruang pori di dalam tanah. Semakin besar nilai porositas, semakin porous tanah tersebut. Porositas berkaitan dengan sifat fisik tanah yang lain, seperti pergerakan air dan udara di dalam tanah. Semakin besar porositas tanah, semakin tinggi peluang sirkulasi air dan udara di dalam tanah. Hasil analisis porositas tanah menunjukkan bahwa pada lahan kontrol tanah lapisan atas lebih porous dibandingkan lapisan bawah. Sementara itu, pada lahan rorak dan antar rorak, tanah lapisan bawah lebih porous dibandingkan lapisan atas (Gambar 3).



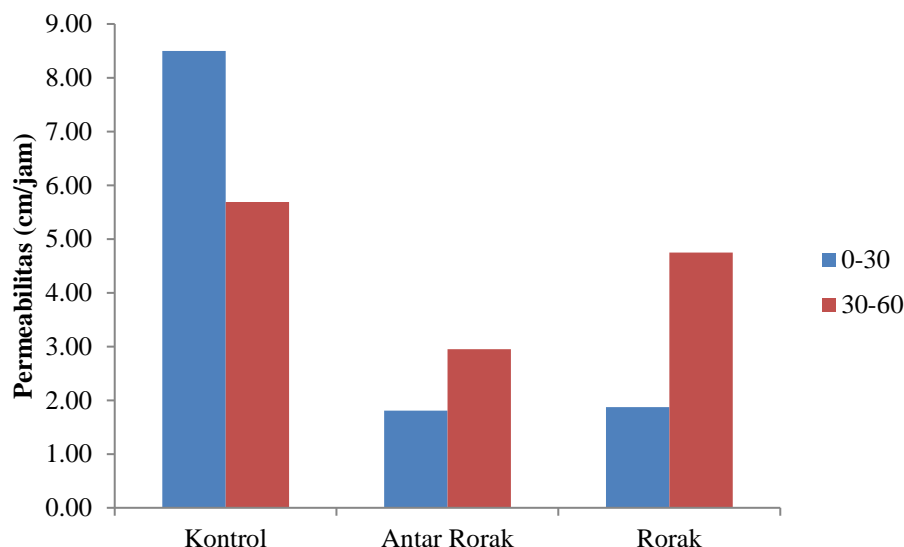
Gambar 3. Porositas tanah di lokasi kajian

Permeabilitas tanah merupakan sifat fisik tanah yang menunjukkan kapasitas tanah dalam melewati air. Semakin tinggi nilai permeabilitas, semakin besar kapasitas tanah dalam melewati air. Hasil analisis menunjukkan bahwa pada lahan kontrol permeabilitas tanah lapisan bawah lebih kecil dibandingkan lapisan atas pada semua lahan. Hal ini mengindikasikan bahwa semakin ke bawah, laju air semakin lambat. Kondisi sebaliknya terjadi pada lahan rorak dan antar rorak, dimana permeabilitas tanah lapisan bawah lebih besar sehingga kemampuan tanah lapisan bawah dalam melewati air lebih besar. Namun demikian, karena permeabilitas lapisan atasnya lebih kecil, maka air yang akan diloloskan oleh lapisan bawah juga lebih kecil karena tertahan terlebih dahulu di lapisan atas.

Kelas permeabilitas pada lahan rorak masih termasuk dalam kategori yang diperbolehkan untuk melakukan land aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit sesuai dengan Permen LHK No. 5 tahun 2021 tentang pedoman syarat dan tata cara perizinan pemanfaatan air limbah industri minyak sawit pada tanah di perkebunan kelapa sawit. Land aplikasi diperbolehkan dilakukan pada lahan dengan permeabilitas antara 1,5 cm/jam – 15 cm/jam.

Tekstur tanah merupakan perbandingan relatif fraksi penyusun tanah. Fraksi tersebut meliputi pasir, debu dan liat. Jika mengacu pada peta jenis tanah di lokasi kajian, tanah di lokasi studi bertekstur halus (*fine*) sampai agak kasar.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tekstur tanah di lokasi kajian adalah liat (*clay*). Tekstur tanah liat adalah tanah yang didominasi oleh fraksi liat dalam komposisi fraksi tanah penyusunnya. Fraksi liat merupakan fraksi tanah yang memiliki muatan sehingga memiliki kapasitas dalam mempertukarkan kation di dalam tanah (Tabel 2).



Gambar 4. Permeabilitas tanah di lokasi kajian

Tabel 2. Tekstur tanah di lokasi kajian

Fraksi/lapisan		0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	60-80 cm	80-100 cm	100-120 cm
Tekstur Kontrol	% Pasir	26,75	19,16	10,78	9,86	9,74	11,80
	% Liat	52,49	61,64	69,15	78,97	66,17	61,59
	% Debu	20,76	19,20	20,07	11,17	24,09	26,61
	Kelas	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay
Tekstur Antar Rorak	% Pasir	17,20	10,67	8,88	10,29	8,94	8,75
	% Liat	69,82	78,30	80,61	75,23	75,50	72,28
	% Debu	12,98	11,03	1051,00	14,47	15,56	18,97
	Kelas	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay
Tekstur Rorak	% Pasir	10,74	11,18	7,21	8,63	8,11	5,47
	% Liat	74,16	73,22	78,03	73,40	82,24	68,91
	% Debu	15,10	15,60	14,76	17,97	9,64	25,61
	Kelas	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay	Clay

Aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit tidak berpengaruh terhadap tekstur tanah karena fraksi tanah lebih dipengaruhi oleh bahan induk dan laju dekomposisi/pembentukan tanah.

Limbah cair pabrik kelapa sawit hanya berpengaruh terhadap tingkat agregasi (dalam waktu yang lama) karena kandungan bahan organik dan unsur-unsur terlarut di dalamnya.

## KESIMPULAN

Nilai permeabilitas tanah merupakan salah satu syarat izin boleh tidak dilakukannya aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit pada lahan. Hasil pengukuran menunjukkan nilai permeabilitas tanah di lokasi masih berada pada rentang nilai yang diizinkan untuk melakukan aplikasi lahan limbah cair pabrik kelapa sawit. Permeabilitas pada lahan rorak adalah 1,87 cm/jam pada lapisan atas dan 4,75 cm/jam pada lapisan bawah. Nilai ambang batas yang diizinkan untuk land aplikasi limbah cair pabrik kelapa sawit adalah 1,5 cm/jam sampai 15 cm/jam. Karenanya, aplikasi pada lahan limbah cair pabrik kelapa sawit masih diperbolehkan, sesuai dengan peraturan pemerintah, dan juga harus mempertimbangkan dampak lainnya terhadap sifat kimia dan biologi tanah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Austin, K. G., Mosnier, A., Pirker, J., McCallum, I., Fritz, S., and Kashibatla, P. S. 2017. Shifting patterns of oil palm driven deforestation in Indonesia and implications for zero-deforestation commitments. *Land Use Policy*. 69 41-48.
- BPS. 2023. Luas perkebunan berdasarkan provinsi. [www.bps.co.id](http://www.bps.co.id)
- Cisneros, E., Kis-Katos, K., and Nuryantono, N. 2021. Palm oil and the politics of deforestation in Indonesia. *Journal of Environmental Economics and Management*. 108 102453.
- FAOSTAT. 2023. FAO Statistical data crops and livestock product. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Hosseini, S. E., Abdul Wahid, M. 2015. Pollutant in palm oil production process. *J Air Waste Manag Assoc*. 65(7):773-81. doi: 10.1080/10962247.2013.873092.
- Kamyab, H., Chelliapan, S., Din, M. F. M., Rezania, S., Khademi, T., Kumar, A. Palm Oil Mill Effluent as an Environmental Pollutant [Internet]. *Palm Oil. InTech*; 2018. Available from: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.75811>.
- Kubitza, C., Khrisna, V. V., Alamsyah, Z., and Qaim, M. 2018. The Economics Behind an Ecological Crisis: Livelihood Effects of Oil Palm Expansion in Sumatra, Indonesia. *Hum Ecol*. 46:107-116.
- Leonika, A., Y. Nugroho, G. S. Rudy. 2021. Pengaruh kerapatan tegakan terhadap sifat fisik tanah pada berbagai tutupan lahan di KHDTK Mandiangin ULM. *Jurnal Sylva Scientiae*. 4 (4): 608-616.
- Mohammad, S., Baidurah, S., Kobayashi, T., Ismail, N, and Leh, C P. 2021. Palm Oil Mill Effluent Treatment Processes—A Review. *Processes*. 9:739.
- Prabowo, D., Maryudi, A., Senawi, and Imron, M. A. 2017. Conversion of forests into oil palm plantations in West Kalimantan, Indonesia: Insights from actors' power and its dynamics. *Land Use Policy*. 78:32-39.
- Safitri, D., B. Ubaidi. 2022. Perbandingan berat tanah basah dengan volume tanah (uji berat volume). *Jurnal Ilmu Teknik*. 2(1): 1-9.



- Sahputra, M. A. and Zhen, Z. 2018. Positive and Negative Impacts of Oil Palm Expansion in Indonesia and the Prospect to Achieve Sustainable Palm Oil. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 122. 012008.
- Tabe-Ojong, M. P. Jr, Alamsyah, Z. and Sibatu, K. T. 2023. Oil Palm Expansion, food security and diets: Comparative evidence form Cameroon and Indonesia. *Journal of Cleaner Production*. 418. 138085.
- Yusof , M. A. B. H., Chan, Y. J., Chong, C. H., and Chew, C. L. 2023. Effects of operational processes and equipment in palm oil mills on characteristics of raw Palm Oil Mill Effluent (POME): A comparative study of four mills. *Cleaner Waste Systems*. 5.100101.