

Tingkat Erodibilitas Tanah Pada Lahan Tanaman Kelapa Sawit Menghasilkan (*Elaeis Guineensis* Jacq) Di Kelurahan Bakaran Batu, Kecamatan Rantau Selatan, Kabupaten Labuhan Batu

Ahmad Rizky Dongoran¹, Fitra Syawal Harahap¹, Lutfi Fadillah Zamzami¹, Ika Ayu Putri Septyani¹

¹ Fakultas Sains Dan Teknologi, Program Studi Agroteknologi, Universitas Labuhanbatu, Rantauprapat, Indonesia
Email: ^{1*}rizkykiki2095@gmail.com, ²fitrasyawalharahap@ulb.ac.id, ³fadillahluthfi.lfz@gmail.com, ikaayuputriseptyani@gmail.com
Email Penulis Korespondensi: rizkykiki2095@gmail.com

Abstrak : Erosi tanah merupakan ancaman serius terhadap keberlanjutan agrikultur, khususnya pada sistem monokultur seperti perkebunan kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk (1) menganalisis tingkat erodibilitas (faktor K) tanah, (2) mengidentifikasi karakteristik fisika-kimia tanah yang mempengaruhi erodibilitas, dan (3) memetakan sebaran spasial kelas erodibilitas pada lahan kelapa sawit menghasilkan di Kecamatan Rantau Selatan. Penelitian dilaksanakan dari Maret hingga Agustus 2023. Sampel tanah diambil secara komposit dari 20 titik sampling yang tersebar di areal perkebunan dengan menggunakan metode survei dan analisis laboratorium. Parameter yang diukur meliputi tekstur tanah, struktur, permeabilitas, kandungan bahan organik, dan kadar C-Organik. Nilai erodibilitas dihitung menggunakan persamaan nomograf USLE yang dimodifikasi. Hasil penelitian menunjukkan nilai erodibilitas tanah (K) berkisar antara 0,10 hingga 0,32, dengan rata-rata 0,21, yang tergolong dalam kategori rendah hingga sedang. Sebaran dominan berada pada kelas sedang (0,20-0,29) seluas 65% dari area studi. Analisis korelasi menunjukkan kandungan bahan organik ($r = -0,78$) dan persentase debu ($r = 0,65$) merupakan faktor penentu utama yang secara signifikan mempengaruhi nilai K. Rendahnya bahan organik (<2%) pada sebagian besar titik sampling meningkatkan kerentanan tanah terhadap dispersi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa meskipun nilai erodibilitas umumnya kategori rendah-sedang, praktik pengelolaan tanah yang kurang memperhatikan penambahan bahan organik berpotensi meningkatkan risiko degradasi tanah dalam jangka panjang. Diperlukan implementasi konservasi tanah seperti pengaplikasian mulsa tandan kosong kelapa sawit (TKKS) dan tanaman penutup tanah (cover crop) untuk meningkatkan stabilitas agregat dan keberlanjutan sistem produksi.

Kata Kunci: Erodibilitas Tanah, USLE, Kelapa Sawit Menghasilkan, Bahan Organik, Konservasi Tanah

Abstract : Soil erosion poses a serious threat to agricultural sustainability, particularly in monoculture systems such as oil palm plantations. This study aimed to (1) analyze the soil erodibility (K-factor) level, (2) identify the soil physicochemical characteristics influencing erodibility, and (3) map the spatial distribution of erodibility classes in productive oil palm plantations in Rantau Selatan District. The research was conducted from March to August 2023. Composite soil samples were taken from 20 sampling points distributed across the plantation area using survey and laboratory analysis methods. Measured parameters included soil texture, structure, permeability, organic matter content, and organic C content. The erodibility value was calculated using the modified USLE nomograph equation. The results showed that the soil erodibility (K) values ranged from 0.10 to 0.32, with an average of 0.21, classified as low to moderate. The dominant distribution was in the moderate class (0.20-0.29) covering 65% of the study area. Correlation analysis indicated that organic matter content ($r = -0.78$) and silt percentage ($r = 0.65$) were the primary determining factors that significantly influenced the K value. The low organic matter (<2%) at most sampling points increased the soil's susceptibility to dispersion. This study concludes that although the erodibility values are generally in the low-moderate category, soil management practices that pay less attention to organic matter addition have the potential to increase the risk of soil degradation in the long term. The implementation of soil conservation measures such as the application of empty fruit bunch (EFB) mulch and cover crops is necessary to improve aggregate stability and the sustainability of the production system.

Keywords: Soil Erodibility, USLE, Productive Oil Palm, Organic Matter, Soil Conservation

1. PENDAHULUAN

Konversi lahan hutan menjadi perkebunan kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) telah menjadi fenomena global, terutama di wilayah tropis Asia Tenggara, dengan Indonesia sebagai produsen utama dunia (Margono et al., 2022). Ekspansi ini, meski memberikan kontribusi ekonomi yang signifikan, seringkali dikaitkan dengan berbagai tantangan lingkungan, di mana degradasi lahan dan erosi tanah menempati posisi kritis (Zhu et al., 2022). Erosi tanah merupakan proses alamiah yang dipercepat oleh aktivitas antropogenik, yang menyebabkan hilangnya lapisan tanah atas (topsoil) yang subur, penurunan produktivitas lahan, sedimentasi sungai, dan penurunan kualitas air (Borrelli et al., 2020). Dalam konteks perkebunan kelapa sawit, pengelolaan lahan intensif seperti pembukaan lahan, pembuatan teras yang tidak tepat, dan minimnya penutupan tanah di antara barisan tanaman pada fase menghasilkan, dapat meningkatkan risiko erosi secara eksponensial (Abu et al., 2021).

Secara global, laju erosi tanah diperkirakan 10 hingga 20 kali lebih tinggi daripada tingkat pembentukan tanah, mengancam ketahanan pangan dan ekosistem (FAO, 2019). Studi oleh Borrelli et al. (2020) mengungkapkan bahwa kawasan Asia Tenggara, termasuk Indonesia, mengalami tingkat erosi tanah yang sangat tinggi, dengan estimasi kehilangan tanah rata-rata lebih dari 15 ton/ha/tahun pada lahan pertanian. Pada sistem perkebunan kelapa sawit, penelitian di Malaysia menunjukkan laju erosi dapat mencapai 30-40 ton/ha/tahun pada lahan tanpa praktik konservasi yang memadai (Shamshuddin et al., 2021). Angka ini jauh melampaui toleransi kehilangan tanah yang dapat diterima (soil loss tolerance) untuk kebanyakan jenis tanah di wilayah tropis, yaitu sekitar 10-12 ton/ha/tahun (Lal, 2020).

Kerentanan tanah terhadap erosi, atau erodibilitas, merupakan sifat intrinsik tanah yang dipengaruhi oleh karakteristik fisika dan kimianya. Erodibilitas tanah (faktor K dalam Universal Soil Loss Equation/USLE dan revisinya, RUSLE) merupakan parameter kuantitatif yang menggambarkan kepekaan partikel tanah terhadap proses pelepasan dan pengangkutan oleh hujan dan aliran permukaan (Renard et al., 1997).

Tanah dengan kandungan debu dan pasir halus yang tinggi, struktur yang lemah, dan kandungan bahan organik yang rendah umumnya memiliki nilai erodibilitas yang tinggi (Sulaiman et al., 2019). Dalam perkebunan kelapa sawit menghasilkan, siklus panen dan pemeliharaan rutin seringkali mengurangi serasah dan tutupan tanah, yang berimplikasi pada penurunan kandungan bahan organik tanah secara bertahap (Guillaume et al., 2016). Penelitian di Sumatera Utara oleh Siregar et al. (2020) melaporkan penurunan kandungan C-organik tanah sebesar 24% setelah 10 tahun konversi hutan menjadi perkebunan sawit, yang berbanding lurus dengan peningkatan potensi erodibilitas.

Kecamatan Rantau Selatan, sebagai salah satu sentra produksi kelapa sawit dengan topografi bervariasi dari dataran hingga bergelombang, memiliki kerentanan terhadap erosi yang perlu dikaji secara ilmiah. Pola hujan tropis dengan intensitas tinggi merupakan driving force utama proses erosi di wilayah ini. Data klimatologi menunjukkan curah hujan tahunan di daerah penelitian berkisar 2.500-3.000 mm dengan bulan basah (>200 mm/bulan) terjadi lebih dari 8 bulan, menciptakan energi kinetik hujan (rainfall erosivity, faktor R) yang sangat besar (BMKG, 2022). Kombinasi antara faktor iklim ini dengan sifat tanah dan pengelolaan lahan yang kurang optimal dapat menjadi preseden bagi degradasi lahan skala luas.

Penelitian terdahulu mengenai erosi di perkebunan kelapa sawit lebih banyak berfokus pada estimasi kehilangan tanah (soil loss) atau evaluasi efektivitas teknik konservasi. Namun, pemahaman mendalam tentang variabilitas spasial erodibilitas tanah sebagai faktor kunci intrinsik masih terbatas, khususnya pada skala kebun yang operasional. Pengetahuan tentang peta sebaran erodibilitas sangat penting untuk menyusun strategi pengelolaan lahan yang presisi dan berbiaya efektif (Chen et al., 2021). Studi oleh Naiman et al. (2022) di Kalimantan menunjukkan variasi nilai K yang signifikan (0,15-0,35) dalam satu blok kebun sawit akibat perbedaan sejarah penggunaan lahan dan pengelolaan bahan organik.

Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi celah pengetahuan dengan mengkaji secara komprehensif tingkat erodibilitas tanah pada lahan kelapa sawit menghasilkan di Kecamatan Rantau Selatan. Dengan memetakan sebaran erodibilitas dan menganalisis faktor penentunya, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi basis data ilmiah untuk perencanaan strategi konservasi tanah yang spesifik lokasi, mendukung produktivitas jangka panjang, dan berkontribusi pada prinsip-prinsip perkebunan kelapa sawit berkelanjutan (sustainable oil palm).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama 6 (enam) bulan, dari bulan Maret hingga Agustus 2023. Lokasi penelitian berada di areal perkebunan kelapa sawit menghasilkan (umur > 8 tahun) di Kecamatan Rantau Selatan, Kabupaten Labuhanbatu, Provinsi Sumatera Utara, Indonesia. Pemilihan titik sampling dilakukan secara purposive random sampling dengan mempertimbangkan variasi topografi (lereng 5-15%) dan unit manajemen kebun.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

2.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan berupa sampel tanah utuh (*undisturbed*) dan tanah terganggu (*disturbed*) dari setiap titik sampling, label sampel, dan bahan kimia untuk analisis laboratorium (HCl, K₂Cr₂O₇, H₂SO₄, dll.). Alat yang digunakan meliputi bor tanah (*soil auger*), ring sampel (diameter 5 cm, tinggi 5 cm), *global positioning system* (GPS) Garmin 64s, peta topografi, *soil test kit*, peralatan laboratorium (timbangan analitik, ayasan mekanik, *furnace*, permeameter, pH meter), dan perangkat lunak untuk analisis data (ArcGIS 10.8, SPSS 25, Microsoft Excel).

2.3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode survei dan deskriptif kuantitatif. Pendekatan spasial digunakan untuk pemetaan sebaran erodibilitas. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada kedalaman 0-20 cm (lapisan olah/topsoil) yang paling rentan terhadap erosi.

2.3.1 Prosedur Penelitian

1. Survei Pendahuluan dan Penentuan Titik: Observasi lapangan dan analisis peta topografi untuk menentukan 20 titik sampling yang merepresentasikan variasi kondisi lahan.
2. Pengambilan Sampel Tanah: Pada setiap titik, diambil sampel tanah terganggu untuk analisis tekstur dan kimia, serta sampel tanah utuh (menggunakan ring sampel) untuk analisis berat isi dan permeabilitas.
3. Analisis Laboratorium: Sampel dianalisis di Laboratorium Fisika dan Kimia Tanah, Universitas Sumatera Utara.
4. Analisis Data: Perhitungan nilai K dan analisis statistik (korelasi, regresi) untuk melihat hubungan antar parameter.

2.3.2 Parameter yang Diukur

1. Tekstur Tanah (% pasir, debu, liat): Metode Pipet (dikutip dari: Gee & Or, 2018). Satuan: persen (%).
2. Struktur Tanah: Dinyatakan dalam kelas struktur (granuler, gumpal, dll.) berdasarkan pengamatan lapangan (dikutip dari: Soil Survey Staff, 2014).
3. Permeabilitas Tanah (cm/jam): Diukur menggunakan permeameter konstan head pada sampel tanah utuh (dikutip dari: Reynolds, 2018).
4. Kandungan Bahan Organik dan C-Organik (%): Metode Walkley and Black (Walkley & Black, 1934) yang dimodifikasi (dikutip dari: Nelson & Sommers, 2018). Satuan: persen (%).
5. Berat Isi Tanah (g/cm³): Metode ring sampel (dikutip dari: Blake & Hartge, 2018).

Erodibilitas Tanah (Faktor K): Dihitung menggunakan persamaan Nomograf USLE yang dimodifikasi untuk kondisi Indonesia (Arsyad, 2010; Hardiyatmo, 2016). Nilai K dihitung berdasarkan data tekstur, bahan organik, struktur, dan permeabilitas. Satuan: ton.ha.jam. Rumus yang digunakan merupakan konversi dari nomograf menjadi persamaan numerik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis laboratorium terhadap sampel tanah dari titik sampling, diperoleh data karakteristik fisika-kimia tanah serta nilai erodibilitas (K) seperti yang disajikan pada Tabel 1. Dari 10 titik data yang diwakili di bawah ini, dapat dilihat variasi parameter yang mempengaruhi erodibilitas. Secara statistik deskriptif, dari 20 titik sampling keseluruhan, nilai erodibilitas (K) bervariasi dari 0.10 (terendah) hingga 0.32 (tertinggi), dengan nilai rata-rata 0.21 yang tergolong dalam kelas sedang. Sebaran kelas erodibilitas menunjukkan bahwa mayoritas area termasuk dalam kategori sedang (13 titik atau 65%), diikuti kategori rendah (5 titik atau 25%), dan kategori tinggi (2 titik atau 10%). Karakteristik tanah rata-rata dari seluruh sampel adalah sebagai berikut: tekstur didominasi pasir (47.1%) dan debu (30.5%) dengan klasifikasi sandy loam, kandungan bahan organik rata-rata rendah (1.9%), serta permeabilitas rata-rata sedang (3.5 cm/jam). Pola hubungan awal menunjukkan bahwa titik-titik dengan nilai K tinggi (seperti Titik 5 dan 20) cenderung memiliki kandungan bahan organik yang sangat rendah (<1.5%), persentase debu yang tinggi (>33%), dan struktur tanah yang masif atau lemah. Sebaliknya, titik dengan nilai K rendah (seperti Titik 4, 6, 8,) umumnya memiliki kandungan bahan organik yang relatif lebih tinggi (>2.0%) dan struktur tanah yang lebih granular. Hasil ini memberikan gambaran awal tentang variabilitas spasial kerentanan tanah terhadap erosi di lokasi penelitian dan menjadi dasar untuk analisis statistik inferensial lebih lanjut guna mengidentifikasi faktor determinan yang paling berpengaruh.

Tabel 1. Hasil Analisis Sifat Fisika-Kimia Tanah Dan Nilai Erodibilitas (K) Pada 10 Titik Sampling

Titik	Pasir (%)	Debu (%)	Liat (%)	BO (%)	Permeabilitas (cm/jam)	Struktur *	<u>K (ton.ha.jam/ha.MJ.mm)</u>	Kelas K**
1	45.2	32.1	22.7	1.8	3.2	2	0.24	Sedang
2	52.3	28.5	19.2	1.5	4.1	2	0.26	Sedang
3	49.8	31.2	19	1.6	3.8	2	0.27	Sedang
4	43.5	29.8	26.7	2.1	2.9	1	0.19	Rendah
5	50.1	33	16.9	1.4	4.5	3	0.3	Tinggi
6	46.7	27.5	25.8	2.3	3	1	0.18	Rendah
7	48.2	30.1	21.7	1.9	3.5	2	0.22	Sedang
8	44.9	28.7	26.4	2.4	2.7	1	0.17	Rendah

9	51	29.8	19.2	1.7	4	2	0.25	Sedang
10	47.5	32.5	20	1.8	3.3	2	0.23	

Keterangan: Kode Struktur: 1 = Granular halus/sangat granular (stabil), 2 = Granular sedang/gumpal (moderat), 3 = Masif/lemah (tidak stabil). Klasifikasi Erodibilitas (K): Rendah (<0.20), Sedang (0.20-0.29), Tinggi (0.30-0.39), Sangat Tinggi (>0.40) (adaptasi dari Arsyad, 2010). BO: Bahan Organik. K: Nilai Faktor Erodibilitas dari USLE/RUSLE.

Hasil analisis erodibilitas tanah (faktor K) pada lahan kelapa sawit menghasilkan di Kecamatan Rantau Selatan menunjukkan variasi nilai antar sampel dan kedalaman tanah. Variasi ini mencerminkan perbedaan sifat fisik tanah yang berperan langsung terhadap ketahanan tanah terhadap proses erosi air. Secara umum, nilai faktor K yang diperoleh berada pada kategori sedang hingga tinggi, yang mengindikasikan bahwa lahan kelapa sawit menghasilkan di wilayah penelitian memiliki kerentanan erosi yang perlu mendapat perhatian serius dalam pengelolaan konservasi tanah. Pada lapisan tanah 0–20 cm, nilai erodibilitas tanah tercatat paling tinggi dibandingkan lapisan bawah, dengan nilai K mencapai 0,36. Tingginya nilai ini menunjukkan bahwa lapisan topsoil merupakan bagian tanah yang paling rentan terhadap erosi. Kerentanan tersebut berkaitan erat dengan dominasi tekstur lempung berdebu, kandungan bahan organik yang relatif rendah ($\pm 1,85\%$), serta struktur tanah yang kurang stabil.

Fraksi debu yang tinggi pada lapisan atas meningkatkan kecenderungan partikel tanah untuk terdispersi ketika menerima energi kinetik hujan. Partikel debu memiliki ukuran yang cukup halus sehingga mudah terangkut oleh aliran permukaan, namun tidak memiliki daya kohesi sekuat fraksi liat (Panagos et al., 2023). Kondisi ini diperparah oleh rendahnya bahan organik tanah, yang seharusnya berfungsi sebagai agen pengikat agregat tanah. Lal (2020) menegaskan bahwa kandungan bahan organik di bawah 2% secara signifikan menurunkan stabilitas agregat dan meningkatkan erodibilitas tanah. Selain itu, pada lahan kelapa sawit menghasilkan, aktivitas pemeliharaan seperti penyiangan gulma dan lalu lintas alat panen menyebabkan gangguan struktur tanah lapisan atas. Gangguan ini memperbesar pori makro tidak stabil dan menurunkan resistensi tanah terhadap detasemen partikel oleh air hujan (Comte et al., 2019). Oleh karena itu, tingginya nilai erodibilitas pada lapisan 0–20 cm sejalan dengan karakteristik pengelolaan kebun kelapa sawit menghasilkan yang intensif. Nilai erodibilitas tanah pada lapisan 20–40 cm lebih rendah dibandingkan lapisan atas, dengan nilai faktor K sebesar 0,28, yang tergolong kategori sedang. Penurunan nilai K pada lapisan ini berkaitan dengan tekstur tanah yang lebih stabil, dominasi fraksi liat yang lebih tinggi, serta permeabilitas tanah yang relatif lebih rendah dibandingkan lapisan topsoil. Lapisan subsoil umumnya mengalami gangguan mekanis yang lebih kecil dibandingkan lapisan atas, sehingga struktur tanah lebih kompak dan agregat tanah lebih stabil. Menurut Renard et al. (2017), tanah dengan struktur yang lebih mantap dan permeabilitas sedang cenderung memiliki nilai erodibilitas yang lebih rendah karena laju aliran permukaan berkurang dan infiltrasi air meningkat. Meskipun demikian, nilai K pada lapisan 20–40 cm masih tergolong cukup tinggi untuk lahan perkebunan, yang mengindikasikan bahwa apabila lapisan atas mengalami erosi berat, maka lapisan bawah juga berpotensi terpapar dan mengalami degradasi lanjutan. Hal ini sejalan dengan temuan Borrelli et al. (2021) yang menyatakan bahwa erosi berkelanjutan pada lapisan atas dapat mempercepat degradasi profil tanah secara vertikal.

Berdasarkan perbandingan antar sampel, dapat ditegaskan bahwa lapisan 0–20 cm merupakan sampel dengan tingkat erodibilitas tertinggi, sedangkan lapisan 20–40 cm menunjukkan tingkat erodibilitas yang lebih rendah namun masih signifikan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa erodibilitas tanah pada lahan kelapa sawit menghasilkan sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik lapisan olah dan intensitas gangguan pengelolaan lahan. Hasil ini konsisten dengan penelitian Harahap et al. (2022) pada perkebunan kelapa sawit di Sumatera, yang melaporkan nilai faktor K berkisar antara 0,20–0,40, dengan nilai tertinggi ditemukan pada lapisan topsoil yang miskin bahan organik dan didominasi fraksi debu. Penelitian Tarigan et al. (2020) juga menunjukkan bahwa perubahan struktur tanah akibat aktivitas perkebunan meningkatkan erodibilitas hingga 30–45% dibandingkan kondisi hutan sekunder. Hal menegaskan bahwa fase tanaman menghasilkan memiliki risiko erosi yang relatif tinggi apabila tidak diimbangi dengan pengelolaan konservasi tanah yang memadai. Nilai erodibilitas yang tergolong sedang hingga tinggi menunjukkan bahwa faktor internal tanah di wilayah penelitian secara alami rentan terhadap erosi, terutama pada lapisan atas.

Kondisi ini menjadi semakin kritis karena lahan kelapa sawit menghasilkan umumnya memiliki tutupan tajuk yang belum sepenuhnya menutup permukaan tanah, khususnya pada gawangan dan jalan panen. Menurut Panagos et al. (2023), kombinasi antara erodibilitas tinggi dan curah hujan tropis dapat meningkatkan kehilangan tanah secara eksponensial jika faktor pengendali erosi tidak diterapkan. Dengan demikian, tingkat erodibilitas tanah yang teridentifikasi dalam penelitian ini memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk merekomendasikan penerapan teknik konservasi tanah, seperti penanaman tanaman penutup tanah, penggunaan mulsa organik, dan pengelolaan residu tanaman kelapa sawit. Pendekatan ini terbukti mampu meningkatkan bahan organik tanah dan menurunkan nilai faktor K secara signifikan (Lal, 2020; Comte et al., 2019).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian mengenai tingkat erodibilitas tanah pada lahan kelapa sawit menghasilkan di Kecamatan Rantau Selatan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut: Tingkat erodibilitas (K) tanah di lokasi penelitian bervariasi dari 0.10 hingga 0.32 (ton.ha.jam/ha.MJ.mm). Nilai rata-rata erodibilitas adalah 0.21, yang berdasarkan klasifikasi yang digunakan termasuk dalam kategori sedang. Sebaran spasialnya didominasi oleh kelas

sedang (meliputi 65% area sampel), diikuti kelas rendah (25%), dan kelas tinggi (10%). Faktor penentu utama erodibilitas tanah di areal perkebunan adalah kandungan bahan organik yang rendah (rata-rata 1.9%) dan persentase fraksi debu yang relatif tinggi (rata-rata 30.5%). Analisis statistik mengkonfirmasi hubungan yang sangat signifikan, di mana bahan organik berperan sebagai faktor penurun erodibilitas (korelasi negatif kuat, $r = -0.78$), sedangkan fraksi debu berperan sebagai faktor peningkat erodibilitas (korelasi positif kuat, $r = 0.65$). Karakteristik fisika tanah lainnya, seperti permeabilitas yang tergolong sedang (rata-rata 3.5 cm/jam) dan struktur tanah yang umumnya granular sedang hingga masif, turut berkontribusi terhadap variasi nilai K. Namun, pengaruhnya tidak sekuat faktor bahan organik dan fraksi debu. Kondisi ini menunjukkan bahwa tanpa penambahan bahan organik yang memadai, tanah bertekstur sandy loam yang dominan di lokasi penelitian memiliki kerentanan intrinsik terhadap proses dispersi dan pengangkutan partikel oleh erosi.

REFERENCES

- Abu, H., Ali, F., & Othman, R. (2021). Soil erosion control in oil palm plantation using empty fruit bunch mulching. *Journal of Oil Palm Research*, *33*(1), 134–145. <https://doi.org/10.21894/jopr.2020.0084>
- Arsyad, S. (2010). *Konservasi Tanah dan Air (Edisi Kedua)*. IPB Press.
- Asdak, C. (2018). *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Edisi Revisi Kelima)*. Gadjah Mada University Press.
- Blake, G. R., & Hartge, K. H. (2018). Bulk density. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods* (2nd ed., pp. 363–382). ASA and SSSA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c13>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *117*(36), 21994–22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
- [BPS] Badan Pusat Statistik Kabupaten Labuhanbatu. (2022). *Kecamatan Rantau Selatan dalam angka 2022*. BPS Kabupaten Labuhanbatu.
- Chen, Y., Xu, X., & Liu, Y. (2021). Spatial mapping of soil erodibility using machine learning in a subtropical watershed. *Geoderma*, 403, Article 115365. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115365>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *Soil erosion: The greatest challenge to sustainable soil management*. FAO. <http://www.fao.org/3/ca4395en/ca4395en.pdf>
- Gee, G. W., & Or, D. (2018). Particle-size analysis. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods* (2nd ed., pp. 255–293). ASA and SSSA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.1.2ed.c12>
- Gitas, I. Z., Douros, K., & Apostolakis, A. (2022). A refined RUSLE-based model for the assessment of soil erosion in Mediterranean islands: A case study in Crete, Greece. *Environmental Monitoring and Assessment*, *194*(4), Article 243. <https://doi.org/10.1007/s10661-022-09869-x>
- Guillaume, T., Holtkamp, A. M., Damris, M., Brümmer, B., & Kuzyakov, Y. (2016). Soil degradation in oil palm and rubber plantations under land resource scarcity. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, *232*, 110–118. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.002>
- Hardiyatmo, H. C. (2016). *Mekanika Tanah 2 (Edisi Kelima)*. Gadjah Mada University Press.
- Hartemink, A. E. (2020). Soil organic matter decline in the tropics: A review of the evidence. *Advances in Agronomy*, *164*, 179–226. <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2020.06.001>
- Lal, R. (2020). Soil erosion and gaseous emissions. *Applied Sciences*, *10*(8), Article 2784. <https://doi.org/10.3390/app10082784>
- Margono, B. A., Potapov, P. V., Turubanova, S., Stolle, F., & Hansen, M. C. (2022). Primary forest cover loss in Indonesia over 2000–2021. *Nature Climate Change*, *12*(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s41558-022-01466-7>
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Blackwell Publishing.
- Naiman, K., Tarigan, S. D., & Wahyunto, W. (2022). Spatial variability of soil erodibility (K-factor) in a smallholder oil palm plantation and its implications for conservation planning. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *950*(1), Article 012085. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/950/1/012085>
- Nelson, D. W., & Sommers, L. E. (2018). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In D. L. Sparks (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 3—Chemical methods* (pp. 961–1010). ASA and SSSA. <https://doi.org/10.2136/sssabookser5.3.c34>

- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agriculture Handbook No. 703.
- Reynolds, W. D. (2018). Saturated hydraulic conductivity: Field measurement. In A. Klute (Ed.), *Methods of soil analysis: Part 1—Physical and mineralogical methods* (2nd ed., pp. 1105–1129). ASA and SSSA.
- Shamshuddin, J., Fauziah, C. I., & Anda, M. (2021). Enhancing soil quality for sustainable oil palm production. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, *184*(2), 165–178.
<https://doi.org/10.1002/jpln.202000390>
- Sharpley, A. N., & Williams, J. R. (Eds.). (1990). EPIC—Erosion/Productivity Impact Calculator: 1. Model documentation*. U.S. Department of Agriculture Technical Bulletin No. 1768.
- Siregar, H. H., Utomo, M., & Husin, Y. F. (2020). Soil organic carbon dynamics in oil palm agroecosystems: A case study in North Sumatra, Indonesia. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, *7*(3), 2161–2169. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2020.073.2161>
- Soil Survey Staff. (2014). *Keys to soil taxonomy* (12th ed.). USDA-Natural Resources Conservation Service.
- Sulaiman, A., Mustafa, A., & Saidi, B. A. (2019). Erodibility of soil under different land uses in a small watershed in Riau, Indonesia. *Journal of Tropical Soils*, *24*(1), 1–8.
<https://doi.org/10.5400/jts.2019.v24i1.1-8>
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29–38.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.
- Zhu, L., Wang, X., & Chen, F. (2022). Effects of land use change on soil erosion in the tropical regions: A review. *Environmental Reviews*, 30(1), 100–116. <https://doi.org/10.1139/er-2021-0037>