

## Karakteristik Fisika dan Kimia pada Tanah Ultisol di Lahan Perkebunan Karet di Desa Gunung Kupang Provinsi Kalimantan Selatan

Aulia Syahputera\*, Abdul Haris, Ratna

Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Jendral A. Yani KM 36 Simpang Empat, Banjarbaru 70714, Indonesia

\*Email penulis korespondensi: [auiasyahputera2@gmail.com](mailto:auiasyahputera2@gmail.com)

### Informasi Artikel

Received 06 Juni 2024

Accepted 29 Juli 2024

Published 30 Juli 2024

Online 30 Juli 2024

### Keywords:

*Chemical properties; Physical properties; Rubber plantation; Soil fertility; Ultisols*

### Abstract

Soil properties are the inherent characteristics of soil bodies in different locations that are influenced by factors such as mineral composition, structure, texture, and organic content. Soil has characteristics that affect the growth of the plants that are cultivated. This study aims to determine the physical and chemical characteristics of Ultisol soil at a depth of 0-50 cm on rubber plantation land in Cempaka District, Banjarbaru City. This research was conducted in the laboratory of ULM Soil Department. The land used was in Gunung Kupang, Cempaka Village, Cempaka District, Banjarbaru City, South Kalimantan Province. The research method used in this study is an exploratory descriptive method whose implementation is carried out directly at the research site and continued with soil sampling as material for analysis in the laboratory. Soil sampling was purposefully determined in 10 minipits in rubber plantations with two sides of observation at five depths, namely 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm, and 40-50 cm. Thus, all observations amounted to 100 samples. The data analysis used is presented in graphical form and analyzed descriptively. The results of this study show that increasing soil depth causes changes in soil physical characteristics. Physical characteristics of soil texture values affect the value of bulk density, particle density, and soil moisture content. The phenomenon of changes in physical characteristics ultimately affects the chemical characteristics of C-organic, soil pH, N-total, P-total and K-total values.

### 1. Pendahuluan

Tanah pada permukaan bumi merupakan objek alam yang terdiri atas horizon dari berbagai komposisi bahan mineral, bahan organik, air dan udara. Seluruh komposisi tersebut merupakan media bagi pertumbuhan tanaman. Karakteristik tanah mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang akan diusahakan. Karakteristik tanah tertentu berasal dari pengaruh iklim dan organisme hidup terhadap bahan induk selama periode waktu tertentu (Schoonover dan Crim, 2015). Pemahaman ini mengarah pada kesimpulan bahwa tanah terbentuk akibat interaksi faktor iklim, organisme hidup, bahan induk, relief, dan waktu.

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman bergantung pada sifat fisik dan kimia tanah, karena tanaman memerlukan air, udara, dan unsur hara untuk pertumbuhannya. Cardone et al. (2020) berpendapat bahwa karakteristik tanah sangat penting dalam mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman, baik sifat fisik maupun kimianya. Sifat fisik tanah meliputi tekstur, kadar air, berat jenis, dan berat jenis partikel. Sifat kimia tanah meliputi pH dan kandungan unsur hara. Kandungan unsur hara tanah terdiri dari nitrogen, fosfor, dan kalium. Pentingnya menganalisis sifat-sifat tanah untuk meningkatkan produktivitas tanaman.

Daerah penghasil karet yang cukup menjanjikan salah satunya berada di Kalimantan Selatan, tepatnya di Kabupaten Cempaka. Tanaman karet yang dibudidayakan di kawasan ini ditanam pada tanah berjenis Ultisol. Besarnya potensi dari luasnya lahan dengan jenis tanah Ultisol layak untuk diusahakan, namun produktivitasnya masih rendah. Rendahnya produktivitas tanaman karet di Kecamatan Cempaka disebabkan oleh sifat fisik yang diduga berkaitan dengan sifat kimia tanah (Daksina et al., 2021).

Rendahnya kandungan unsur hara tanah di Kecamatan Cempaka antara lain disebabkan oleh pencucian akibat curah hujan dengan intensitas tinggi. Intersepsi air ke dalam tanah secara kontinu mengakibatkan terjadinya

translokasi material tanah (Huntley, 2023). Translokasi material tanah pada zona perakaran (0-50 cm) diduga dipengaruhi oleh sifat fisik tanah, seperti *bulk density*, *partikel density* serta porositas.

Air yang membawa partikel-partikel terlarut di dalam tanah menyebabkan terjadinya perpindahan unsur hara. Proses pencucian unsur hara ini sangat erat kaitannya dengan sifat fisika, sehingga akan berdampak terhadap kandungan unsur hara di pertanaman karet. Rendahnya kandungan unsur hara pada pertanaman karet akan berdampak terhadap berkurangnya produktivitas karet. Hasil penelitian Daksina et al. (2021) menunjukkan bahwa tanah Ultisol pada perkebunan karet di Kecamatan Cempaka, Kota Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan memiliki status kesuburan rendah. Status kesuburan rendah ini disebabkan oleh sifat tanah yang memiliki kriteria masam (pH 4,90), kejenuhan basa tergolong sangat rendah (9,99%), P-total tergolong rendah (4,63 mg/100 g), K-total tergolong rendah (16,32 mg/100 g). Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang karakteristik sifat fisik dan kimia tanah Ultisol pada perkebunan karet, agar dapat memberikan rekomendasi pengelolaan yang tepat untuk petani karet.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat. Tanah yang digunakan diambil di daerah Gunung Kupang Kelurahan Cempaka Kecamatan Cempaka Kota Banjarbaru Provinsi Kalimantan Selatan dengan titik koordinat 3°25'47"LS 114°52'7"BT.

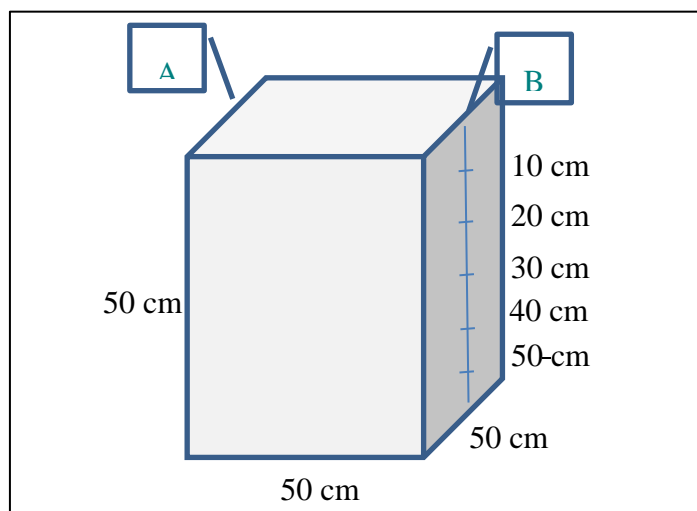
### 2.2. Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini berlangsung dari bulan April sampai dengan Agustus 2022. Rancangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif eksploratif yang pelaksanaannya dilakukan secara langsung pada lokasi penelitian dan dilanjutkan dengan pengambilan sampel tanah sebagai bahan untuk analisis di laboratorium. Pengambilan sampel tanah ditentukan secara sengaja (*purposive sampling*) pada 10 minipit di lahan perkebunan karet dengan dua sisi pengamatan pada lima kedalaman yaitu, 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm dan 40-50 cm, sehingga sampel penelitian terdiri dari 100 sampel.

Persiapan penelitian berupa observasi mengenai pustaka-pustaka terkait penunjang penelitian. Tahapan persiapan-persiapan antara lain menyiapkan lokasi pengambilan contoh sampel dan pengadaan alat seperti cangkul, ring sampel, parang, plastik, alat tulis dan lainnya. Penelitian ini dimulai dengan menentukan letak pengambilan titik sampling.

Minipit dibuat seperti penampang tanah (profil) dengan menggunakan cangkul, ukurannya lebih kecil dan lebih dangkal dengan ukuran 50 x 50 x 50 cm. Terdapat 10 minipit yang bertujuan untuk mendapatkan data karakteristik fisik dan kimia tanah pada daerah yang telah ditentukan.

Pengambilan sampel tanah yang diambil berupa sampel tanah terusik dan tidak terusik. Sampel terusik diambil menggunakan ring sampel sedangkan sampel tanah tidak terusik diambil menggunakan parang. Pengambilan sampel tanah diambil per kedalaman dari 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-40 cm dan 40-50 cm di masing-masing minipit, satu minipit diambil lima sampel tanah berdasarkan kedalaman pada sisi A dan sisi B (Gambar 1) dari minipit sehingga terdapat, jadi total keseluruhan titik sampel berjumlah 100 titik sampling. Seluruh sampel tanah yang diambil di lapangan dimasukkan ke dalam plastik sampel kemudian dibawa untuk dianalisis di laboratorium.

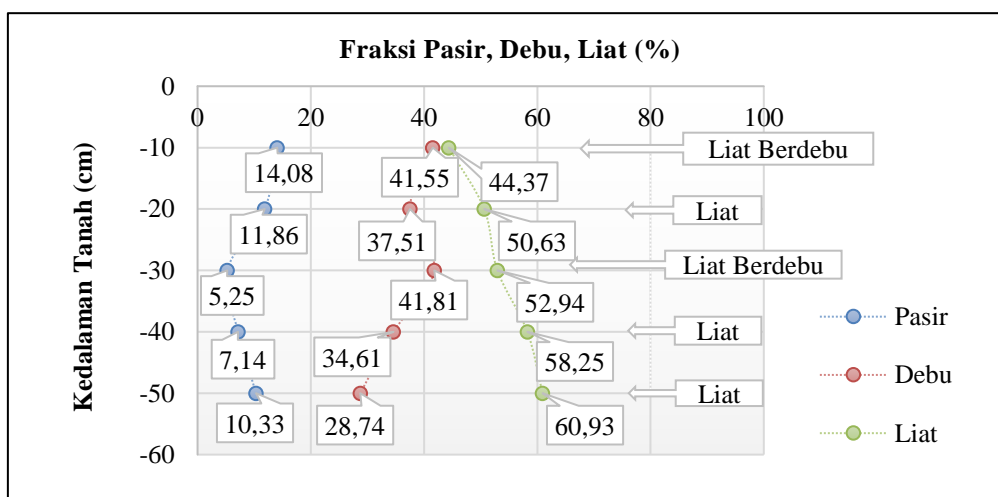


Gambar 1. Skema pengambilan sampel pada sebuah minipit

Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini berupa karakteristik fisik dan kimia tanah meliputi tekstur metode pipet, *bulk density* (BD), *particle density* (PD) dan kadar air berdasarkan Brogowski et al. (2014), sedangkan karakteristik kimia tanah yang diteliti meliputi nilai pH tanah, C-organik, nitrogen (N-total), fosfor (P-total) dan kalium (K-total) berdasarkan Eviati et al. (2023). Analisis data menggunakan aplikasi Excel.

### 3. Hasil dan Pembahasan

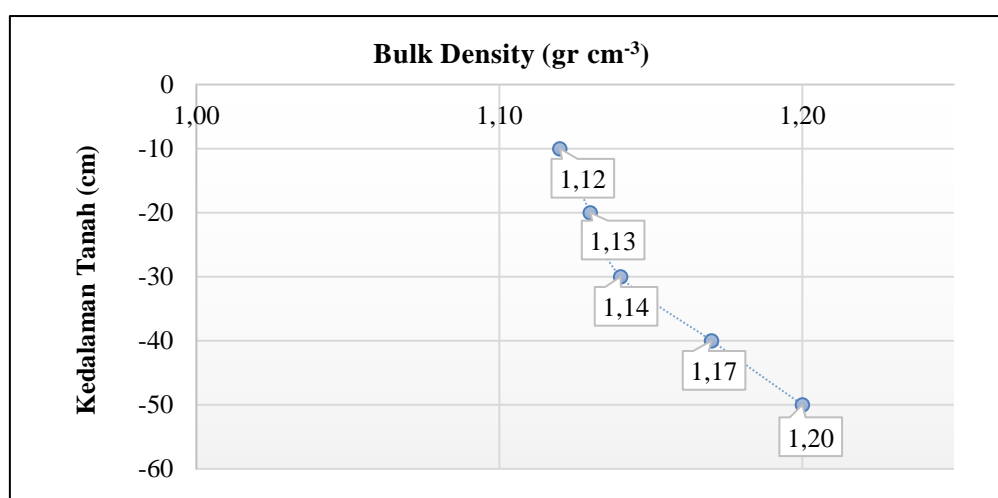
Hasil rata-rata pengukuran tekstur di lokasi pengamatan pada perkebunan karet pada kedalaman yang berbeda dari 0-50 cm dibuat dalam bentuk Gambar. Gambar menunjukkan perbedaan rata-rata nilai tekstur tanah di masing-masing kedalaman (Gambar 2). Tekstur tanah pada kedalaman 10 cm dan 30 cm yaitu liat berdebu, sedangkan tekstur tanah pada kedalaman 20 cm, 40 cm dan 50 cm yaitu liat.



Gambar 2. Karakteristik tekstur tanah pada kedalaman 0-50 cm

Tekstur tanah merupakan perbandingan relatif dari proporsi fraksi pasir, debu dan liat di dalam tanah. Proporsi fraksi mempengaruhi aerasi, drainase dan penyimpanan air bagi tanaman (Riduan et al., 2018). Mengacu pada penelitian, telah teridentifikasi dua kelas tekstur pada kedalaman 0-50 cm: liat berdebu (*silty clay*) pada kedalaman 10 cm dan 30 cm, serta liat (*clay*) pada kedalaman 20 cm, 40 cm dan 50 cm. Kelas-kelas ini menunjukkan tekstur yang berbeda-beda namun tetap termasuk dalam kategori tekstur liat. Fraksi tanah liat mempunyai persentase paling tinggi dibandingkan pasir (*sand*) dan debu (*silt*). Selain itu, seiring bertambahnya kedalaman tanah, persentase fraksi liat juga meningkat (Gambar 2). Pergerakan air yang membawa partikel-partikel terlarut di dalam tanah dapat menyebabkan fraksi liat mengalami translokasi atau perpindahan.

Hasil rata-rata pengukuran BD di lokasi pengamatan pada perkebunan karet pada kedalaman yang berbeda dari 0-50 cm dibuat dalam bentuk Gambar. Gambar menunjukkan perbedaan rata-rata BD antar tanah di masing-masing kedalaman (Gambar 3).

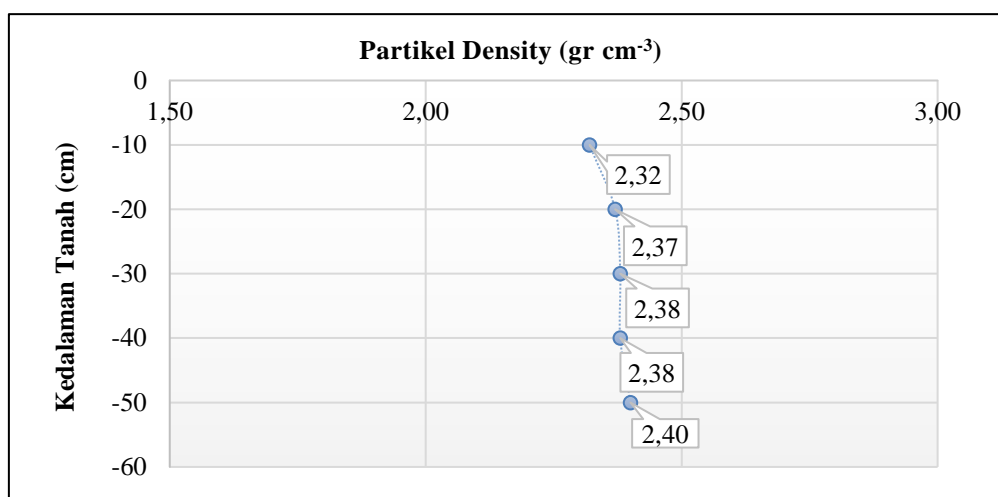


Gambar 3. Karakteristik *bulk density* tanah pada kedalaman 0-50 cm

Nilai BD tanah (Gambar 3) menunjukkan bahwa kedalaman tanah yang lebih tinggi maka semakin tinggi pula nilai BD-nya. Nilai BD tertinggi terdapat pada kedalaman 50 cm dengan nilai  $1,20 \text{ gr cm}^{-3}$  sedangkan yang terendah terdapat pada kedalaman 10 cm dengan nilai  $1,12 \text{ gr cm}^{-3}$ . Hal ini disebabkan karena nilai tekstur tanah fraksi liat lebih tinggi dibandingkan dengan tekstur tanah fraksi pasir sehingga dapat mengakibatkan proses pemadatan tanah lebih tinggi. Hal ini disebabkan dengan semakin meningkatnya kedalaman tanah maka kandungan bahan organik akan semakin rendah (Gambar 6) sehingga membuat proses pemadatan tanah akan menjadi lebih mudah sehingga menyebabkan sifat fisik bobot isi tanah akan semakin tinggi.

Hasil rata-rata pengukuran PD di lokasi pengamatan pada perkebunan karet pada kedalaman yang berbeda dari 0-50 cm dibuat dalam bentuk Gambar. Gambar menunjukkan perbedaan rata-rata PD antar tanah di masing-masing kedalaman (Gambar 4). Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa semakin dalam tanah maka semakin tinggi PD tanah pada kedalaman tersebut. Hasil analisis PD tanah memperlihatkan bahwa PD tertinggi terdapat pada kedalaman 50 cm dengan nilai  $2,40 \text{ gr cm}^{-3}$  sedangkan PD terendah terdapat pada kedalaman 10 cm dengan nilai  $2,32 \text{ gr cm}^{-3}$ .

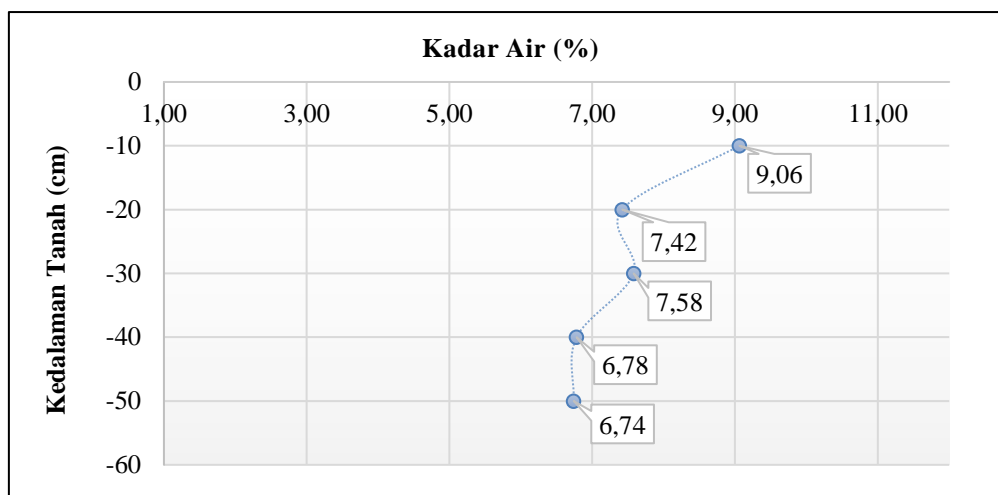
*Particle density* merupakan salah satu cara mengutarakan berat tanah ataupun kerapatan butiran. Hasil analisis PD tanah memperlihatkan bahwa PD tertinggi terdapat pada kedalaman 50 cm dengan nilai  $2,40 \text{ gr cm}^{-3}$  sedangkan PD terendah terdapat pada kedalaman 10 cm dengan nilai  $2,32 \text{ gr cm}^{-3}$ . Bahan organik tanah sangat berpengaruh terhadap kerapatan partikel tanah. Hal tersebut sesuai dengan referensi (Robinson et al., 2022) bahwa ruang antar partikel di dalam tanah akan mengembang seiring tingginya kandungan bahan organik.



Gambar 4. Karakteristik *particle density* tanah pada kedalaman 0-50 cm

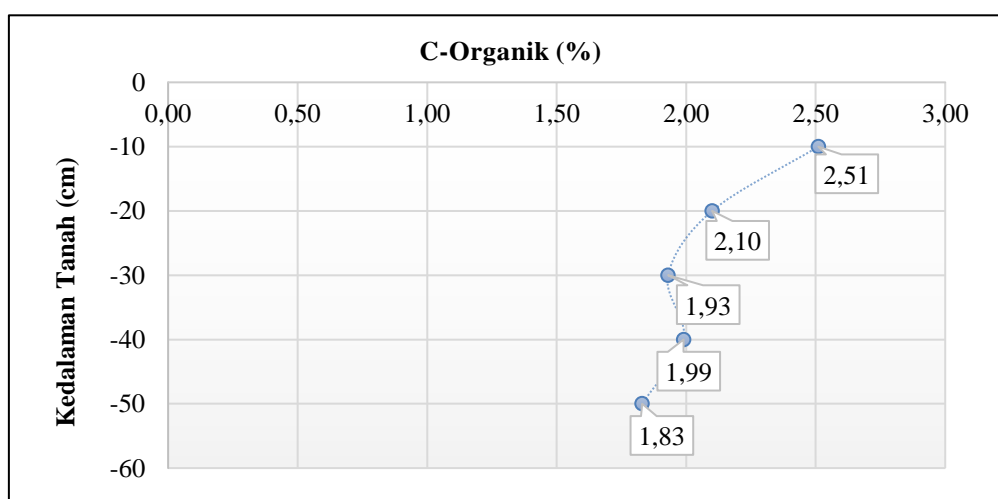
Hasil rata-rata pengukuran kadar air di lokasi pengamatan pada perkebunan karet pada kedalaman yang berbeda dari 0-50 cm dibuat dalam bentuk Gambar. Gambar 5 menunjukkan perbedaan rata-rata kadar air tanah di masing-masing kedalaman. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa semakin dalam tanah maka semakin rendah kadar air pada kedalaman tersebut. Hasil analisis kadar air tanah memperlihatkan bahwa kadar air tertinggi terdapat pada kedalaman 10 cm dengan nilai 9,06% sedangkan kadar air terendah terdapat pada kedalaman 50 cm dengan nilai 6,74%.

Kadar air tanah mengacu pada jumlah air di dalam tanah berbanding dengan berat totalnya. Intersepsi air ke dalam tanah ditentukan oleh seberapa banyak kadar air yang terkandung dalam tanah, sehingga kadar air yang lebih tinggi menyebabkan proses masuknya air ke dalam tanah menjadi lebih lambat (Sarminah dan Indriwan, 2017). Nilai kadar air yang digambarkan pada (Gambar 5) menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kedalaman tanah maka nilai kadar air semakin menurun. Kadar air tertinggi terdapat pada kedalaman 10 cm dengan nilai 9,06%, sedangkan terendah terdapat pada kedalaman 50 cm dengan nilai 6,74%. Analisis tekstur tanah seperti terlihat pada (Gambar 2) menunjukkan adanya peningkatan kandungan liat yang mempengaruhi permeabilitas air tanah. Hal ini sejalan dengan literatur (Riduan et al., 2018) yang menunjukkan bahwa tanah dengan kandungan liat lebih tinggi memiliki pori makro lebih sedikit sehingga kemampuan memfasilitasi pergerakan udara dan air menjadi buruk. Semakin meningkat kandungan liat tanah maka akar tanah akan semakin susah menembus tanah untuk mencari hara dan air serta pertumbuhan akar semakin terhambat (Yu et al., 2024).



Gambar 5. Karakteristik Kadar Air tanah pada kedalaman 0-50 cm

Hasil rata-rata pengukuran C-organik di lokasi pengamatan pada perkebunan karet pada kedalaman yang berbeda dari 0-50 cm dibuat dalam bentuk Gambar. Gambar menunjukkan perbedaan rata-rata C-organik antar tanah di masing-masing kedalaman (Gambar 6). Kandungan C-organik di dalam tanah lebih rendah pada kedalaman yang lebih dalam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsentrasi C-organik tertinggi terdapat pada kedalaman 10 cm dengan nilai 2,51%, sedangkan konsentrasi terendah terdapat pada kedalaman 50 cm dengan nilai 1,83%. Tingkat C-organik dalam tanah merupakan indikator penting kesuburan tanah, pada tingkat yang lebih tinggi akan menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman. Berbagai faktor dapat mempengaruhi jumlah karbon organik di dalam tanah, salah satunya adalah kedalaman tanah (Kirschbaum et al., 2021). Studi yang telah dilakukan oleh Tolaka et al., (2013) menunjukkan bahwa bahan organik yang ditemukan di lapisan atas tanah terutama berasal dari dekomposisi serasah tanaman yang terakumulasi pada permukaan tanah. Kandungan C-organik terlihat semakin menurun dengan semakin dalamnya tanah. Hal ini disebabkan pada tanah bagian bawah, C organik akan menerima lebih sedikit masukan C organik segar dan sangat mudah terurai (Kirschbaum et al., 2021).

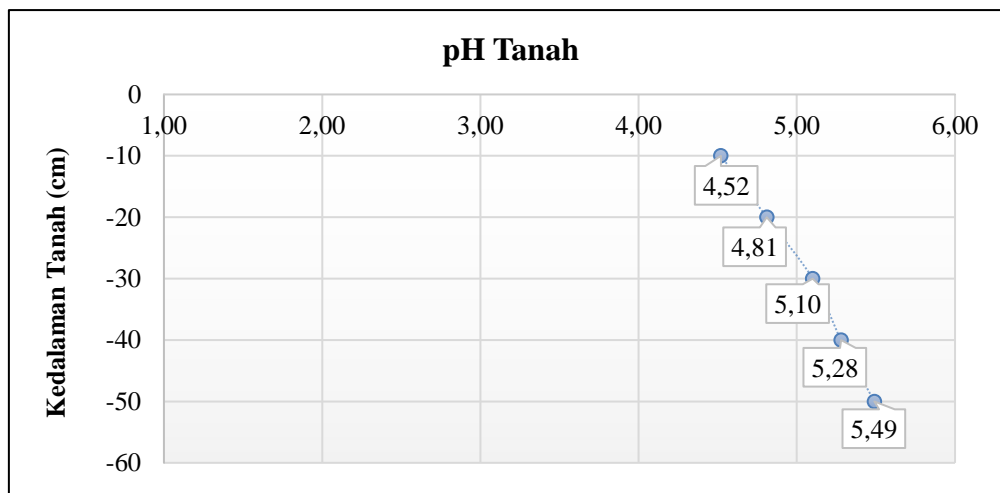


Gambar 6. Karakteristik C-organik tanah pada kedalaman 0-50 cm

Hasil rata-rata pengukuran pH di lokasi pengamatan pada perkebunan karet pada kedalaman yang berbeda dari 0-50 cm dibuat dalam bentuk Gambar. Gambar menunjukkan perbedaan rata-rata pH antar tanah di masing-masing kedalaman dapat dilihat pada Gambar 7.

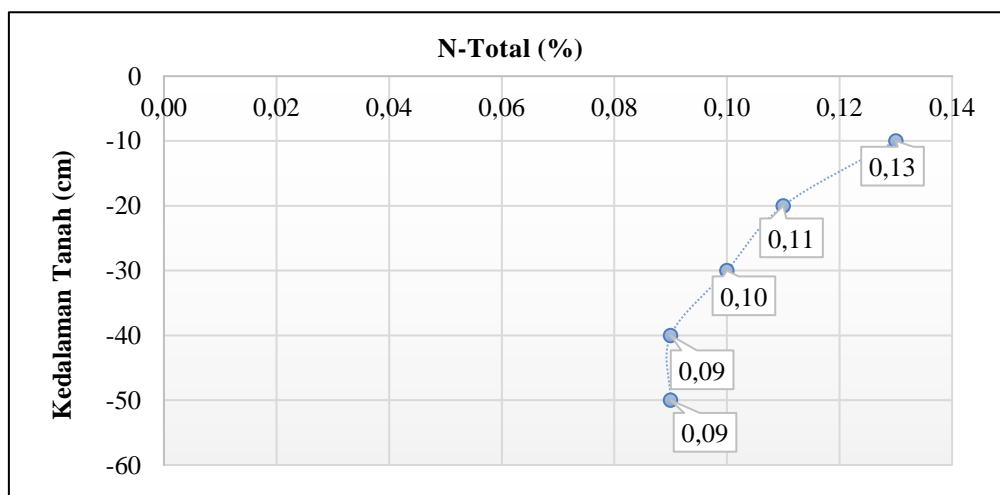
Nilai pH tanah pada kedalaman yang berbeda dianalisis dan ditemukan bahwa semakin dalam tanah, semakin tinggi pH-nya. Nilai pH pada semua kedalaman berkisar antara 4,52 hingga 5,49 yang menunjukkan kondisi tanah masam. Keasaman tersebut dipengaruhi oleh adanya sampah karet di dalam tanah yang akhirnya terurai menjadi bahan organik. Penelitian Khotimah et al. (2022) mendukung hal tersebut, menyatakan bahwa jumlah serasah mempengaruhi pH tanah. Vegetasi karet akan menyumbang serasah berupa daun, ranting dan biji pada lapisan atas

(10 cm). Serasah ini mengalami proses dekomposisi secara tidak sempurna. Hasil dekomposisi tidak sempurna bahan organik tersebut di lapisan atas tanah menghasilkan asam organik berupa asam fenolat dan karboksilat yang membuat tanah semakin asam (Apulina, 2016).



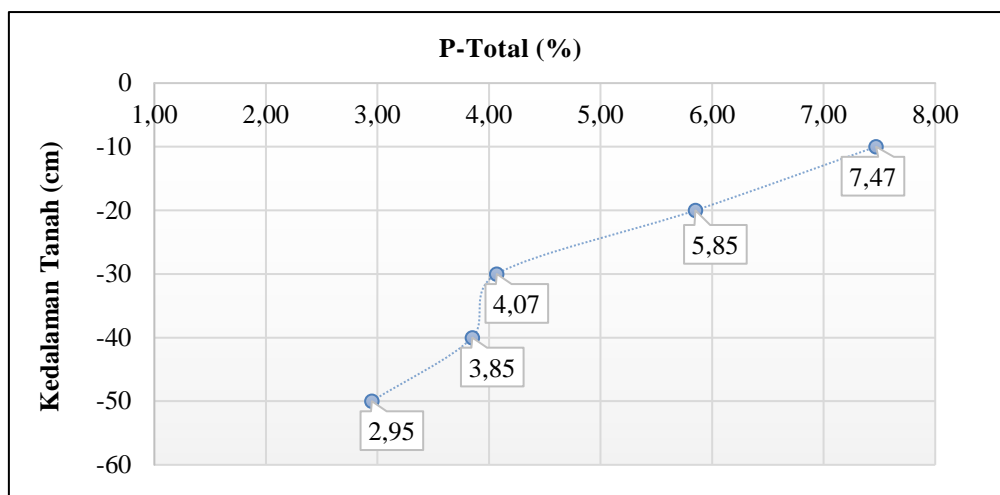
Gambar 7. Karakteristik pH tanah pada kedalaman 0-50 cm

Hasil rata-rata pengukuran N-Total di lokasi pengamatan pada perkebunan karet pada kedalaman yang berbeda dari 0-50 cm dibuat dalam bentuk Gambar. Gambar menunjukkan perbedaan rata-rata N-Total antar tanah di masing-masing kedalaman (Gambar 8). N-Total pengamatan tertinggi pada kedalaman 10 cm dengan nilai 0,13% dan terendah pada kedalaman 50 cm dengan nilai 0,09%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin dalam tanah maka kandungan N totalnya semakin rendah. Nitrogen dalam tanah sangat mobil sehingga keberadaannya mudah berubah bahkan hilang. Nitrogen tanah yang rendah dapat terjadi karena hilangnya N yang disebabkan oleh serapan tanaman, penguapan, atau pencucian (Afandi et al., 2015). Hilangnya nitrogen akibat pencucian sering terjadi pada tanah dengan kandungan bahan organik rendah. Hal ini konsisten jika kita mempertimbangkannya (Gambar 6).



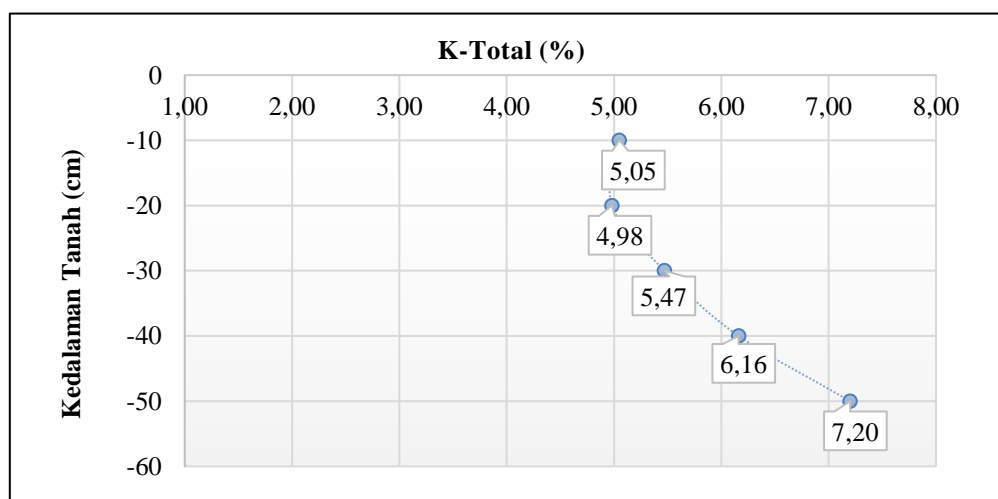
Gambar 8. Karakteristik N-Total tanah pada kedalaman 0-50 cm

Hasil rata-rata pengukuran P-Total di lokasi pengamatan pada perkebunan karet pada kedalaman yang berbeda dari 0-50 cm dibuat dalam bentuk Gambar. Gambar menunjukkan perbedaan rata-rata P-Total antar tanah di masing-masing kedalaman (Gambar 9). Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa, semakin dalam tanah, maka semakin rendah kandungan P-Total tanah pada kedalaman tersebut. Hasil analisis P-Total tanah memperlihatkan bahwa P-Total tertinggi terdapat pada kedalaman 10 cm dengan nilai 7,47% sedangkan P-Total terendah terdapat pada kedalaman 50 cm dengan nilai 2,95%.



Gambar 9. Karakteristik P-Total tanah pada kedalaman 0-50 cm

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin dalam tanah maka P-total semakin rendah. Hal ini sesuai dengan pernyataan (Amarh et al., 2021) bahwa kandungan fosfor menurun seiring dengan kedalaman, yang berimplikasi pada penurunan kesuburan tanah. Rendahnya kandungan P-total tanah pada tanah masam diduga didasari oleh rendahnya mineral sumber utama unsur P dalam tanah, di mana sumber P alami adalah hasil disintegrasi batuan mineral strengit ( $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) (Syahputra et al., 2015). Selain itu, rendahnya kandungan P total diduga disebabkan oleh kandungan P yang terjerap oleh Al sehingga menjadi bentuk yang tidak dapat diserap oleh tanaman (Johan et al., 2021).



Gambar 10. Karakteristik K-Total tanah pada kedalaman 0-50 cm

Berdasarkan Gambar 10 diketahui bahwa kecenderungan semakin dalam tanah maka semakin tinggi kandungan K-Total tanah pada kedalaman tersebut. Hasil analisis K-Total tanah memperlihatkan bahwa K-Total tertinggi terdapat pada kedalaman 50 cm dengan nilai 7,20% sedangkan K-Total terendah terdapat pada kedalaman 20 cm dengan nilai 4,98%.

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa nilai K-total tanah semakin tinggi seiring dengan bertambahnya kedalaman tanah. Menurut literatur (Afandi et al., 2015), unsur K memiliki kemampuan mobilitas yang lebih baik daripada unsur hara P dan terbentuk lebih stabil jika dibandingkan dengan unsur hara N, sehingga menjadi sangat larut dalam air dan mudah terbawa bersama air hujan. Berdasarkan penelitian (Adedeji dan Gbadegesin, 2012), peningkatan unsur hara kalium di dalam tanah diakibatkan pencucian (*leaching*) tajuk tanaman karet umur 15 dan 40 tahun di daerah dengan curah hujan 1.500-1.750 mm/tahun.

#### 4. Kesimpulan

Bertambahnya kedalaman tanah menyebabkan terjadinya perubahan terhadap karakteristik fisik tanah. Karakteristik fisik pada nilai tekstur tanah mempengaruhi terhadap nilai *bulk density*, *particle density* dan kadar air tanah. Fenomena perubahan karakteristik secara fisik ini akhirnya mempengaruhi terhadap karakteristik kimia terhadap nilai C-organik, pH tanah, N-total, P-total dan K-total.

#### Daftar Pustaka

- Adedeji, O.H., Gbadegesin, A. 2012. Base cation leaching from the canopy of a rubber (*Hevea brasiliensis* Willd. Muell-Arg) plantation at Ikenne, South West Nigeria. *Ethiopian Journal of Environmental Studies and Management* 5, 384–390.
- Afandi, F.N., Siswanto, B., Nuraini, Y. 2015. Effect of giving various types of organic material on soil chemical properties on the growth and production of sweet potato plants in Entisol Ngrangkah Pawon, Kediri. *Soil and Land Resources* 2(2), 237–244.
- Amarh, F., Voegborlo, R.B., Essuman, E.K., Agorku, E.S., Tettey, C.O., Kortei, N.K. 2021. Effects of soil depth and characteristics on phosphorus adsorption isotherms of different land utilization types: Phosphorus adsorption isotherms of soil. *Soil and Tillage Research* 213, 105139. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105139>
- Apulina, S. 2016. Kajian sifat fisika dan kimia tanah inceptisol pada lahan karet telah menghasilkan dengan beberapa jenis vegetasi yang tumbuh di kebun PTPN III Sarang Giting. Skripsi, Program Studi Keteknikan Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Brogowski, Z., Kwasowski, W., Madyniak, R. 2014. Calculating particle density, bulk density, and total porosity of soil based on its texture. *Soil Science Annual* 65(4), 139-149. <https://doi.org/10.1515/ssa-2015-0007>
- Cardone, L., Castronuovo, D., Perniola, M., Scrano, L., Cicco, N., Candido, V. 2020. The influence of soil physical and chemical properties on saffron (*Crocus sativus* L.) growth, yield and quality. *Agronomy* 10, 1154. <https://doi.org/10.3390/agronomy10081154>
- Daksina, B.F., Makalew, A.M., Langai, B.F. 2021. Evaluasi kesuburan tanah Ultisol pada pertanaman karet di Kecamatan Cempaka Kota Banjarbaru, Provinsi Kalimantan Selatan. *Agroekotek View* 4(1), 60-71. <https://doi.org/10.20527/agtview.v4i1.2990>
- Eviati, Sulaeman, Herawaty, L., Anggria, L., Usman, Tantika, H.E., Prihatini, R., Wuningrum, P. 2023. Petunjuk Teknis Edisi 3: Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air, dan Pupuk. Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk, Bogor.
- Huntley, B.J. 2023. Soil, Water and Nutrients. In: *Ecology of Angola*. Springer, Cham. pp 127-147. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18923-4\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18923-4_6)
- Johan, P.D., Ahmed, O.H., Omar, L., Hasbullah, N.A. 2021. Phosphorus transformation in soils following co-application of charcoal and wood ash. *Agronomy* 11, 2010. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102010>
- Kirschbaum, M.U.F., Don, A., Beare, M.H., Hedley, M.J., Pereira, R.C., Curtin, D., McNally, S.R., Lawrence-Smith, E.J. 2021. Sequestration of soil carbon by burying it deeper within the profile: A theoretical exploration of three possible mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry* 163, 108432. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2021.108432>
- Khotimah, K., Suratno, Aisyah, I.N., Haryadi, S. 2022. Analysis of the effect of leaf litter thickness on soil organic carbon and total nitrogen in coffee plantations with different shade plants in East Java, Indonesia. *Journal of Positive School Psychology* 6(6), 2595-2603.
- Riduan, Junaidi, Hayati, R. 2018. Studi sifat fisik tanah pada kebun karet dan kelapa sawit di Desa Rasan Kecamatan Ngabang Kabupaten Landak. *Perkebunan dan Lahan Tropika* 8(1), 18–28.
- Robinson, D.A., Thomas, A., Reinsch, S., Lebron, I., Feeney, C.J., Maskell, L.C., Wood, C.M., Seaton, F.M., Emmett, B.A., Cosby, B.J. 2022. Analytical modelling of soil porosity and bulk density across the soil organic matter and land-use continuum. *Sci Rep* 12, 7085. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11099-7>
- Sarminah, S., Indriwan. 2017. Kajian laju infiltrasi pada beberapa tutupan lahan dikawasan Karst Sangkulirang-Mangkalihat Kabupaten Kutai Timur. *Jurnal Agrifor* 16(2), 301–310.
- Schoonover, J.E., Crim, J.F. 2015. An Introduction to soil concepts and the role of soils in watershed management. *Journal of Contemporary Water Research & Education* 154(1), 21-47. <https://doi.org/10.1111/j.1936-704X.2015.03186.x>



- Syahputra, E., Fauzi, Razali. 2015. Karakteristik sifat kimia sub grup tanah Ultisol di beberapa wilayah Sumatera Utara. *Jurnal Agroekoteknologi* 4(1), 1796–1803. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.05.006>
- Tolaka, W., Wardah, Rahmawati. 2013. Physical properties of soil in primary forest, agroforestry and cocoa gardens in Wera Saluopa Subbasin, Leboni Village, Puselemba District, Poso Regency. *Warta Rimba* 1, 1–8.
- Yu, C., Mawodza, T., Atkinson, B.S., Atkinson, J.A., Sturrock, C.J., Whalley, R., Hawkesford, M.J., Cooper, H., Zhang, X., Zhou, H., Mooney, S.J. 2024. The effects of soil compaction on wheat seedling root growth are specific to soil texture and soil moisture status. *Rhizosphere* 29, 100838. <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100838>