

## Analisis Beberapa Sifat Fisik Tanah Sebagai Indikator Kerusakan Tanah Pada Lahan Kering

NUR HARTANTO<sup>1\*</sup>, ZULKARNAIN<sup>2\*\*</sup>, ABROR AJI WICAKSONO<sup>3\*\*\*</sup>

<sup>(1,2,3)</sup> Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman, Samarinda, Kalimantan Timur, Indonesia.  
Email: [anto\\_walet@yahoo.com](mailto:anto_walet@yahoo.com)

**Abstract.** Soil physical properties are soil properties related to soil fertility and affect plant growth and production, so that soil physical properties can be used as indicators of soil degradation on dry land. The purpose of this study was to determine the physical properties of the soil as an indicator of soil degradation on dry land. Data was collected through of soil surveys with selected physiographic methods on several dry land uses on Nunukan Island. Undisturbed soil samples were taken to analyze bulk density, porosity and permeability, while disturbed soil samples were taken to analyze soil texture. The research data were analyzed by descriptive method, namely by comparing the critical threshold criteria for soil degradation for biomass production according to Government Regulation No. 150 of 2000. The results showed that soil degradation occurred on dry land use on Nunukan Island. Of the thirteen locations studied, soil texture damage was found in four locations because it had a clay percentage of less than 18%. Soil that suffered bulk density damage had a value of more than 1.4 g.cm<sup>-3</sup> in nine locations. Soil that had porosity damage had a porosity of less than 30% in 4 locations. Soil that was damaged by permeability had a value of less than 0.7 cm.hour<sup>-1</sup> or more than 8 cm.hour<sup>-1</sup> in three locations. There are two locations where the soil is not degraded, five locations with damage to one till two soil physical properties and one location with damage to four soil physical properties.

**Keywords:** Soil degradation, Physical Properties, Dry Land

**Abstrak.** Sifat fisik tanah adalah sifat-sifat tanah yang berhubungan dengan kesuburan tanah dan mempengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman, sehingga sifat fisik tanah dapat dijadikan sebagai indikator terjadinya degradasi tanah pada lahan kering. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik tanah sebagai indikator degradasi tanah pada lahan kering. Pengumpulan data dilakukan melalui survei tanah dengan metode fisiografi terpilih pada beberapa penggunaan lahan kering di Pulau Nunukan. Sampel tanah tidak terganggu diambil untuk menganalisis bulk density, porositas dan permeabilitas, sedangkan sampel tanah terganggu diambil untuk menganalisis tekstur tanah. Data penelitian dianalisis dengan metode deskriptif, yaitu dengan membandingkan kriteria ambang batas kritis degradasi tanah untuk produksi biomassa menurut Peraturan Pemerintah Nomor 150 Tahun 2000. Hasil penelitian menunjukkan bahwa degradasi tanah terjadi pada penggunaan lahan kering di Pulau Nunukan. Dari tiga belas lokasi yang diteliti, kerusakan tekstur tanah ditemukan di empat lokasi karena memiliki persentase liat kurang dari 18%. Tanah yang mengalami kerusakan bulk density memiliki nilai lebih dari 1,4 g.cm<sup>-3</sup> di sembilan lokasi. Tanah yang mengalami kerusakan porositas memiliki porositas kurang dari 30% di 4 lokasi. Tanah yang mengalami kerusakan permeabilitas memiliki nilai kurang dari 0,7 cm.jam<sup>-1</sup> atau lebih dari 8 cm.jam<sup>-1</sup> di tiga lokasi. Ada dua lokasi yang tanahnya tidak terdegradasi, lima lokasi rusak satu sampai dua sifat fisik tanah dan satu lokasi rusak empat sifat fisik tanah.

**Kata Kunci :** Degradasi Tanah, Sifat Fisik, Lahan Kering

### PENDAHULUAN

Keseimbangan antara suplai pangan dan kebutuhan pangan terus mendapat perhatian pemerintah dalam rangka menjaga ketahanan pangan nasional, baik pada skala makro maupun mikro. Pulau Nunukan sebagai pusat pemerintahan Kabupaten Nunukan memiliki sebaran penduduk yang paling besar, yaitu mencapai 43 persen dari jumlah penduduk Kabupaten Nunukan. Terkosentrasinya penduduk di Pulau Nunukan menyebabkan kebutuhan pangan di wilayah ini lebih tinggi dibandingkan wilayah lainnya di Kabupaten Nunukan. Pulau Nunukan memiliki luas 266 km<sup>2</sup>, namun hanya terdapat sawah aktif seluas 272 Ha [1], sehingga pertanian lebih banyak dilakukan pada areal lahan kering. Oleh sebab itu, pertanian lahan kering memiliki peranan yang strategis dalam rangka ketahanan pangan di wilayah ini.

Tanah sebagai sumberdaya alam harus dijaga kelestariannya dengan pengelolaan yang tepat, karena tanah dapat mengalami kerusakan yang dapat menurunkan produktivitasnya yang berakibat terhadap keberlanjutan usaha pertanian. Kerusakan tanah menyebabkan perubahan sifat dasar tanah yang melebihi kriteria baku kerusakan tanah sehingga mengurangi kemampuan tanah dalam menghasilkan biomassa (Peraturan Pemerintah Nomor 150 tahun 2000). Tanah yang mengalami kerusakan harus dipulihkan namun membutuhkan biaya yang cukup tinggi, sehingga usaha untuk mengkonservasinya lebih baik daripada upaya pemulihannya. Kerusakan tanah banyak terjadi akibat penggunaan lahan yang melebihi daya dukungnya

[2], khususnya pada lahan kering di daerah beriklim tropika humida yang tidak menerapkan kaidah konservasi tanah dan air, karena proses erosi sangat intensif.

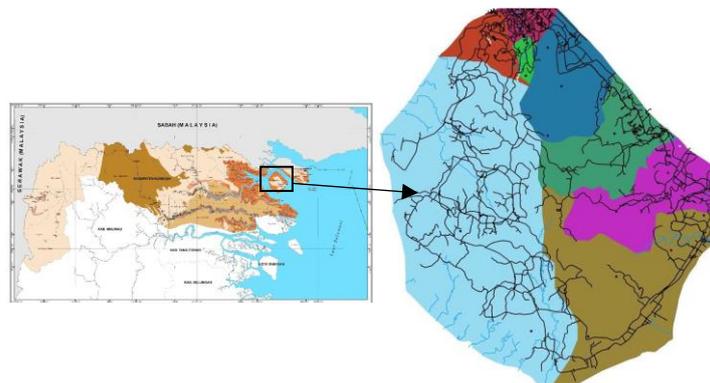
Salah satu sifat tanah yang menjadi penentu baik atau buruknya kualitas tanah adalah sifat fisik tanah. Sifat fisik tanah seperti tekstur, berat volume, permeabilitas dan porositas menjadi indikator kesuburan tanah. Peranan sifat fisik terutama terhadap ketersediaan air di dalam matriks tanah, mengatur sirkulasi udara di dalam tanah, memengaruhi sifat reaktif koloid tanah dan mempengaruhi tumbuh kembang tanaman. Sifat fisik tanah mempengaruhi pertumbuhan akar dan kemampuannya dalam menyerap air dan unsur hara, sehingga mempengaruhi produksi tanaman [3]. Oleh sebab itu, suatu tanah yang mempunyai sifat kimia yang baik tidak akan mencapai produksi tanaman yang optimal tanpa disertai dengan sifat fisik yang baik. Kaitannya dengan konservasi tanah dan air, sifat fisik tanah khususnya tekstur dan permeabilitas mempengaruhi laju erosi tanah [4]. Kerusakan terhadap sifat fisik tanah umumnya bersifat permanen dan sukar diperbaiki dan berdampak terhadap sifat tanah yang lain serta mengganggu pertumbuhan dan produksi tanaman.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat fisik tanah sebagai indikator kerusakan tanah pada lahan kering di Pulau Nunukan. Pengatahuan terhadap kondisi sifat fisik dapat menjadi masukan bagi pemerintah daerah dan seluruh pihak berkepentingan dalam pemanfaatan secara berkelanjutan.

## BAHAN DAN METODE

### Lokasi Penelitian

Survei tanah dilakukan di dua kecamatan di Pulau Nunukan, yaitu Kecamatan Nunukan dan Kecamatan Nunukan Selatan Kabupaten Nunukan, Analisis tanah di lakukan di Laboratorium Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Mulawarman, Samarinda.



Gambar 1. Lokasi Pulau Nunukan

### Prosedur Penelitian

Penentuan titik pengambilan contoh tanah menggunakan metode survey fisiografi terpilih. Pengambilan contoh tanah terdiri atas contoh tanah terusik dan contoh tanah tidak terusik. Pengambilan contoh tanah terusik menggunakan metode bor tanah pada kedalaman 0-40 cm, sedangkan pengambilan contoh tanah tidak terusik menggunakan metode ring pada kedalaman 0-20 cm. Tanah terusik digunakan untuk analisis tekstur tanah, sedangkan tanah tidak terusik digunakan untuk analisis berat volume, porositas dan permeabilitas.

Analisis sifat fisik tanah dilaksanakan di laboratorium untuk mendapatkan hasil tekstur, permeabilitas, berat volume, dan porositas tanah. Tekstur tanah dianalisis dengan metode pipet, berat volume dengan metode gravimetri dan permeabilitas dengan metode *constant head permeameter*. Selanjutnya porositas diperoleh menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Porositas Total} = \left(1 - \frac{BV}{BJ}\right) \times 100\%$$

dimana :

BV = berat volume ( $\text{g.cm}^{-3}$ )

BJ = berat jenis partikel ( $\text{g.cm}^{-3}$ )

Analisis data dilakukan dengan metode deskriptif, yaitu dengan membandingkan data hasil analisis sifat fisik tanah dengan kriteria baku kerusakan tanah pada lahan kering berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 150 tahun 2000 sebagaimana yang disajikan pada tabel 1. Parameter sifat fisik tanah yang berada pada ambang kritis mengindikasikan bahwa tanah tersebut mengalami kerusakan.

Tabel 1. Kriteria baku kerusakan sifat fisik tanah

No.	Parameter	Ambang Kritis
1.	Komposisi Fraksi/Tekstur tanah	< 18 % liat; > 80 % pasir
2.	Berat Isi	> 1,4 g.cm <sup>-3</sup>
3.	Porositas Total	< 30 % ; > 70 %
4.	Permeabilitas	< 0,7 cm.jam <sup>-1</sup> ; > 8,0 cm.jam <sup>-1</sup>

Sumber: Peraturan Pemerintah Nomor 150 tahun 2000.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pulau Nunukan secara administratif termasuk ke dalam wilayah Kabupaten Nunukan. Terdapat dua kecamatan di Pulau Nunukan, yaitu Kecamatan Nunukan dan Kecamatan Nunukan Selatan, dengan jumlah desa/kelurahan sebanyak 8 desa/kelurahan. Secara geografis Pulau Nunukan berada di antara 3°15'00"-4°24'55" LU dan 115°33'00"-118°03'55" BT.

Jenis penggunaan lahan kering yang terdapat di lokasi penelitian meliputi ladang, kebun campuran, perkebunan, semak belukar dan lahan terbuka. Penggunaan lahan ladang merupakan penggunaan lahan yang dominan dengan vegetasi tanaman semusim, diikuti oleh penggunaan lahan perkebunan dengan vegetasi kelapa sawit. Selain itu, terdapat pula penggunaan lahan kebun campuran dengan vegetasi tanaman buah seperti nangka, cempedak dan petai. Informasi kondisi umum lokasi pengambilan contoh tanah dan hasil analisis sifat fisik tanah disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat fisik tanah

Nomor Lokasi	Nama Lokasi	Penggunaan Lahan	Fraksi (%)			Tekstur	Berat volume (g.cm <sup>-3</sup> )	Porositas (%)	Permeabilitas (cm.jam <sup>-1</sup> )
			Liat	Debu	Pasir				
1	Binusan 1	Ladang	26,39	55,34	18,27	SiL	1,57	33,55	3,14
2	Binusan 2	Ladang	26,46	47,59	25,95	L	1,89	15,52	1,75
3	Binusan 3	Perkebunan	10,80	41,27	47,93	L	1,37	44,50	1,77
4	Mansapa	Perkebunan	8,60	14,66	76,74	SL	1,67	35,39	1,57
5	Nunukan Barat 1	Ladang	35,41	40,99	23,60	CL	1,12	54,00	3,14
6	Nunukan Barat 2	Kebun campuran	9,36	33,32	57,32	SL	1,86	22,94	8,54
7	Nunukan Selatan	Ladang	35,05	46,39	18,57	SiCL	1,36	41,91	11,09
8	Nunukan Tengah	Lapangan rumput	44,69	6,19	49,12	SC	1,43	44,55	3,14
9	Nunukan Timur	Ladang	23,86	3,58	72,56	SCL	2,11	15,79	1,57
10	Selisun 1	Ladang	34,00	51,55	14,45	SiCL	1,40	42,57	0,73
11	Selisun 2	Semak belukar	10,27	37,05	52,68	SL	1,60	34,78	0,59
12	Tanjung Harapan 1	Perkebunan	17,17	42,95	39,88	L	1,87	30,33	3,14
13	Tanjung Harapan 2	Ladang	25,06	23,49	51,45	SCL	2,07	22,30	1,75

Sumber: Laboratorium Tanah Fakultas Pertanian Unmul (2020).

Keterangan:

SiL = Lempung berdebu, L = Lempung, SL = Lempung Berpasir, CL = Lempung Berliat, SiCL = Lempung Liat Berdebu, SCL = Lempung Liat Berpasir, SC= liat berpasir

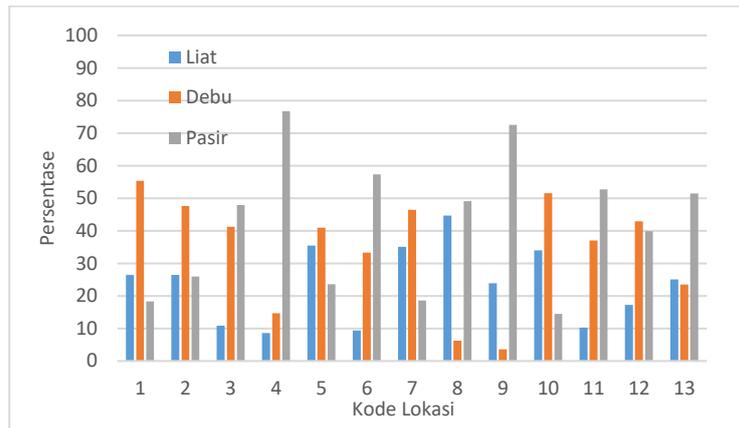
### Tekstur Tanah

Tekstur tanah di lokasi studi meliputi lempung berpasir, lempung, lempung berdebu, lempung liat berpasir, lempung liat berdebu, lempung berliat, dan liat berpasir. Tekstur tanah menunjukkan komposisi fraksi tanah yang meliputi fraksi liat, debu dan pasir (Subroto, 2003). Komposisi fraksi tanah ini menentukan sifat tanah lainnya, baik sifat fisik itu sendiri maupun sifat kimia tanah. Tanah dengan kandungan liat tinggi cenderung mempunyai kandungan air dan kapasitas tukar kation yang lebih tinggi, disebabkan fraksi liat mempunyai luas permukaan spesifik yang besar, sekitar 800 m<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> sehingga mampu mengadsorpsi molekul air dan kation-kation [5].

Terdapat tanah dengan komposisi fraksi liat yang kurang dari 18 %, yaitu pada penggunaan lahan perkebunan dan pada sebagian penggunaan lahan ladang. Lokasi tersebut meliputi Binusan 3, Mansapa, Tanjung Harapan 1, dan Selisun 2. Tanah tersebut telah mengalami kerusakan disebabkan komposisi liat berada pada ambang kritis kerusakan tanah (kurang dari 18 %), sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kandungan liat yang rendah menurunkan kemampuan tanah

untuk mengadsorpsi air sehingga tanah memiliki kelengasan yang rendah. Komposisi fraksi pasir dan debu yang dominan pada keempat lokasi tersebut menyebabkan ikatan negatif koloid tanah tidak begitu baik, karena kedua fraksi tersebut memiliki luas permukaan spesifik yang rendah (Foth, 1990). Koloid liat juga berfungsi sebagai bahan perekat agregat tanah sehingga tanah tidak mudah terangkut oleh aliran permukaan. Dengan demikian, tanah dengan kandungan liat yang rendah umumnya peka terhadap erosi [6].

Tekstur tanah merupakan sifat tanah yang sukar untuk diperbaiki sehingga upaya perbaikan ditujukan bukan untuk meningkatkan komposisi liat, tetapi upaya perbaikan yang dapat menggantikan peranan koloid liat khususnya dalam mengadsorpsi air dan meningkatkan kapasitas tukar kation tanah, seperti penggunaan pupuk organik khususnya yang memiliki C/N rasio yang tinggi [7],

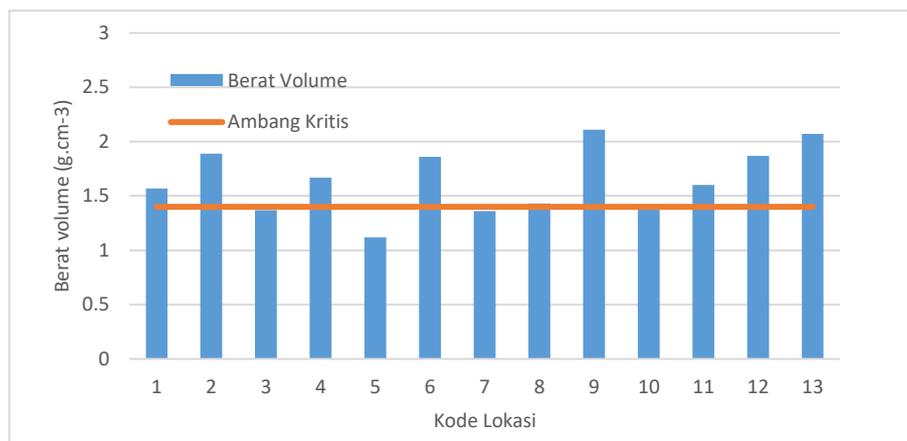


Gambar 2. Komposisi Fraksi Tanah.

**Berat Volume**

Berat volume tanah pada lokasi penelitian berkisar antara 1,12-2,11 g.cm<sup>-3</sup>. Bobot isi merupakan parameter yang dapat digunakan untuk menilai kepadatan suatu tanah. Semakin kecil bobot isi tanah maka semakin gembur tanah tersebut, sebaliknya semakin besar bobot isi semakin padat tanah tersebut. Berat volume sekitar 1,0 g.cm<sup>-1</sup> merupakan nilai yang ideal untuk tanah mineral yang bagus untuk perkembangan akar tanaman dalam menembus tanah karena tidak terjadi pemadatan [8].

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar berat volume tanah berada pada ambang kritis kerusakan tanah, karena memiliki berat volume yang lebih dari 1,4 g.cm<sup>-3</sup>. Tanah yang mengalami kerusakan parameter berat volume terdapat pada sembilan lokasi dan mewakili semua jenis penggunaan lahan, yaitu Binusan 1, Binusan 2, Mansapa, Nunukan Barat 2, Nunukan Tengah, Nunukan Timur, Selisun 2, Tanjung Harapan 1 dan Tanjung Harapan 2 (Gambar 3).



Gambar 3. Nilai Berat Volume Tanah.

Berat volume tanah yang sebagian besar berada pada ambang kritis menunjukkan bahwa telah terjadi pemadatan tanah pada penggunaan lahan kering di Pulau Nunukan. Pemadatan tanah diartikan sebagai penyusutan partikel-partikel di dalam tanah karena gaya tekan pada permukaan tanah sehingga ruang pori tanah menjadi sempit [9]. Pemadatan tanah dapat disebabkan oleh pengolahan tanah dan penghancuran agregat tanah oleh air hujan. Pemadatan tanah tentunya tidak diinginkan

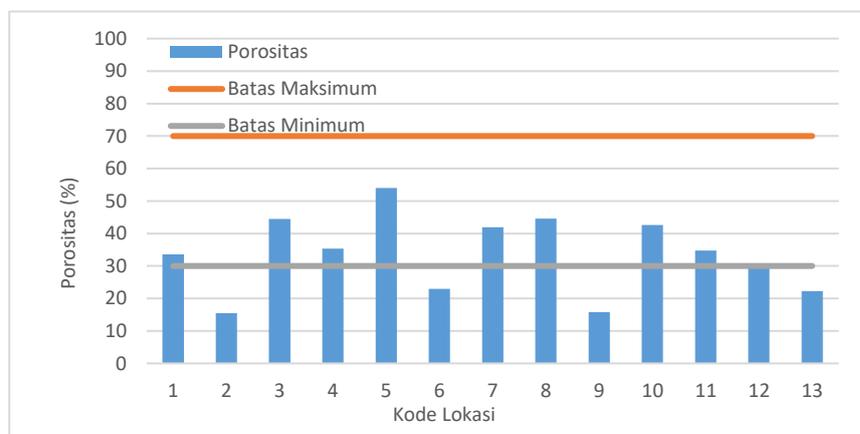
dalam pertanian karena dapat menurunkan aerasi tanah, mengurangi air tersedia, serta menghambat pertumbuhan akar dan perkecambahan tanaman. Terdapat kecenderungan bahwa pada penggunaan lahan ladang telah terjadi pemadatan tanah yang semakin tinggi, dimana berat volume telah melebihi  $2 \text{ g.cm}^{-3}$ , seperti pada lokasi Nunukan Timur dan Tanjung Harapan 2. Menurut Haridjaja *et al* [3], bahwa semakin tinggi tingkat kepadatan tanah maka makin berkurang persentase pori makro dan resistensi terhadap penetrasi akar akan makin meningkat.

Upaya pemulihan kerusakan tanah untuk mengurangi pemadatan tanah dilakukan dengan pemberian bahan organik. Bahan organik tanah membantu dalam pembentukan agregat tanah dengan membentuk granul-granul dan memperbesar volume dan pori-pori tanah yang ada, sehingga ruang pori total tanah meningkat [10]. Pemberian serasah atau mulsa sebagai penutup tanah dan perlakuan olah tanah konservasi diharapkan dapat mengurangi erosi dan aliran permukaan, serta memperbaiki sifat fisik tanah pada lahan kering.

### Porositas

Berdasarkan hasil perhitungan porositas, menunjukkan bahwa setiap penggunaan lahan memiliki nilai porositas yang beragam. Porositas tanah tertinggi dan terendah terdapat pada penggunaan lahan ladang, yaitu pada lokasi Nunukan Barat 1 dengan porositas sebesar 54 % dan Binusan 2 dengan porositas sebesar 15,52%. Ambang kritis kerusakan tanah untuk porositas yaitu jika lebih tinggi dari 70 % atau kurang dari 30 %. Tanah dengan nilai porositas yang kurang dari 30% merupakan tanah yang padat dan biasanya didominasi oleh pori-pori mikro yang sangat kuat memegang air, akibatnya akar sulit untuk menyerap air. Sebaliknya, pada porositas yang lebih dari 70% maka pori-pori tanah didominasi oleh pori makro yang sifatnya mudah meloloskan air akibat gaya grafitasi sehingga tanah dapat kehilangan banyak air pada lapisan olah tanah [11].

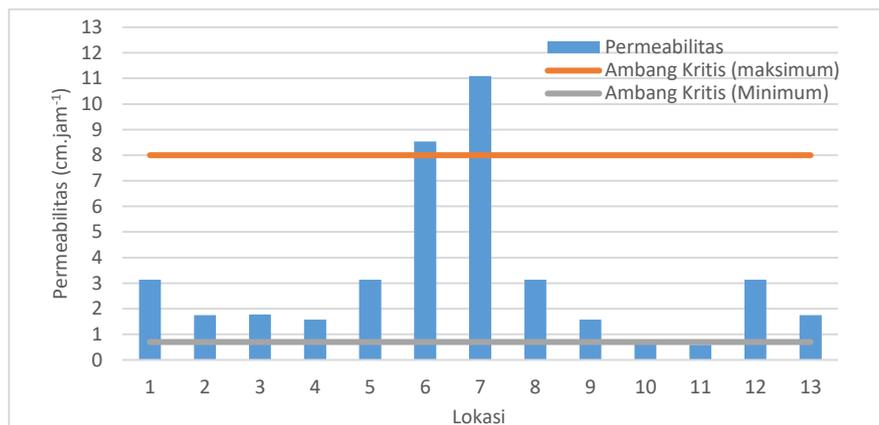
Hasil evaluasi kerusakan tanah menunjukkan bahwa terdapat empat lokasi yang porositasnya telah mengalami kerusakan, karena nilainya kurang dari 30 % (batas kritis minimum) yang semuanya berada pada penggunaan lahan ladang, yaitu pada lokasi Binusan 2, Nunukan Barat 2, Nunukan Timur dan Tanjung Harapan 2 (Gambar 4). Porositas tanah yang kurang dari 30 % menunjukkan bahwa tanah lebih padat dan hanya sedikit memiliki ruang pori yang dapat ditempati oleh air dan udara. Pada tanah yang terlalu padat pertukaran udara menjadi lambat, kandungan oksigen dalam tanah cukup rendah dan permeabilitas terhambat sehingga air akan tergenang dan menghambat pertumbuhan tanaman [3].



Gambar 4. Nilai Porositas Tanah

### Permeabilitas

Dari hasil pengukuran permeabilitas tanah diperoleh satu lokasi dengan permeabilitas kurang dari  $0,7 \text{ cm.jam}^{-1}$  yaitu Selisun 2 (penggunaan lahan semak belukar), yang menunjukkan air di dalam solum tanah bergerak lambat. Sedangkan, tanah yang permeabilitasnya lebih dari  $8 \text{ cm.jam}^{-1}$  terdapat di dua lokasi yaitu Nunukan Selatan (penggunaan lahan kebun campuran) dan Nunukan Barat (penggunaan lahan ladang), yang menunjukkan pergerakan air di dalam solum tanah cepat. Permeabilitas tanah pada ketiga tersebut telah melewati ambang kritis kerusakan tanah sebagaimana disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah berbanding lurus terhadap aerasi pada tanah. Permeabilitas tanah yang rendah akan menyebabkan aliran permukaan besar yang berdampak pada peningkatan erosi, sedangkan pelolosan air yang tinggi akan menyebabkan berkurangnya kemampuan tanah untuk memegang air dan hara. Faktor penentu permeabilitas tanah adalah tekstur dan porositas. Semakin kasar tekstur tanah, semakin tinggi tanah dapat meloloskan air [12], sebaliknya tanah dengan kandungan partikel pasir yang lebih dari 80% akan sulit mengadsorpsi air [13]. Permeabilitas tanah yang telah melebihi ambang kritis kerusakan tanah dapat diatasi dengan perbaikan pengolahan tanah dan penambahan bahan organik. Pemberian bahan organik dapat meningkatkan populasi dan aktivitas biota tanah sehingga akan mengakibatkan rongga atau pori tanah meningkat sehingga dapat meningkatkan permeabilitas tanah [14].

### KESIMPULAN

Kondisi tanah pada penggunaan lahan kering sebagian besar telah mengalami kerusakan atau degradasi karena sifat fisiknya tanah berada pada ambang kritis kerusakan tanah. Tanah yang tidak mengalami kerusakan sebanyak 2 lokasi yaitu Nunukan Barat 1 dan Selisun 2. Tanah yang mengalami kerusakan satu sifat fisik tanah sebanyak 5 lokasi meliputi Binusan 1, Binusan 3, Nunukan Selatan, Nunukan Tengah dan Nunukan Timur. Tanah yang mengalami kerusakan dua sifat fisik tanah sebanyak 5 lokasi yaitu Binusan 2, Mansapa Selisun 2, Tanjung Harapan 1 dan Tanjung Harapan 2. Kerusakan tanah pada lokasi Nunukan Barat 2 adalah yang terberat karena semua sifat fisik tanahnya yang mengalami kerusakan.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Dinas Lingkungan Hidup dan Kehutanan Kabupaten Nunukan atas bantuan dan kerjasamanya yang telah memfasilitasi pelaksanaan kajian ini.

### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Hidayanto, "Potensi Ketahanan Pangan Pulau Sebatik sebagai Pulau Kecil Wilayah Perbatasan di Kalimantan Utara.".
- [2] N. Hariyo, S. Alfari, and A. Sudrajat, "Konservasi tanah dan air," 2014.
- [3] O. Haridjaja, Y. Hidayat, and L. S. Maryamah, "Pengaruh Bobot Isi Tanah Terhadap Sifat Fisik Tanah Dan Perkecambahan Benih Kacang Tanah Dan Kedelai," *J. Ilmu Pertan. Indones.*, 2010.
- [4] M. Arifin, "Kajian Sifat Fisik Tanah dan Berbagai Penggunaan Lahan dalam Hubungannya dengan Pendugaan Erosi Tanah," *J. Pertan. Maperta*, 2010.
- [5] R. Sutanto, "Dasar – Dasar Ilmu Tanah Konsep Dan Kenyataan," *Kanisius*, 2005.
- [6] N. Isra, S. A. Lias, and A. Ahmad, "KARAKTERISTIK UKURAN BUTIR DAN MINERAL LIAT TANAH PADA KEJADIAN LONGSOR (STUDI KASUS: SUB DAS JENEBERANG)," *J. Ecosolum*, 2019, doi: 10.20956/ecosolum.v8i2.7874.
- [7] A. Surya Zannah Hasibuan, "Pemanfaatan Bahan Organik dalam Perbaikan Beberapa Sifat Tanah Pasir Pantai Selatan Kulon Progo," *Planta Trop. J. Agro Sci.*, 2015, doi: 10.18196/pt.2015.037.31-40.
- [8] W. P. Robarge, "Environmental Soil and Water Chemistry: Principles and Applications," *Soil Sci.*, 1999, doi: 10.1097/00010694-199908000-00008.
- [9] D. H. Agustina, "PENGARUH ENERGI PEMADATAN TERHADAP NILAI KEPADATAN TANAH," *SIGMA Tek.*, 2019, doi: 10.33373/sigma.v2i2.2067.
- [10] R. Ardiansyah, I. S. Banuwa, and M. Utomo, "PENGARUH SISTEM OLAH TANAH DAN RESIDU PEMUPUKAN NITROGEN JANGKA PANJANG TERHADAP STRUKTUR TANAH, BOBOT ISI, RUANG PORI TOTAL DAN KEKERASAN TANAH PADA PERTANAMAN KACANG HIJAU (*Vigna radiata* L.)," *J. Agrotek Trop.*, 2015, doi: 10.23960/jat.v3i2.2034.
- [11] Gusmara dkk, "Bahan Ajar Dasar-dasar Ilmu Tanah," *J. Bahan Ajar*, 2016.
- [12] Suripin, *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. 2002.
- [13] S. Hardjowigeno, "Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis," *Jakarta Akad. Press.*, 2003.
- [14] A. N. Anna, "Pendekatan Hidrologi untuk Penilaian Kegiatan Pengelolaan DAS," *Forum Geogr.*, 2016, doi: 10.23917/forgeo.v8i1.4818.