



Sifat dan Morfologi Tanah

Mursyid ■ Arniana Anwar ■ Adriani S A Siahaan ■ Iswahyudi
Ania Citraresmini ■ Halus Satriawan ■ Tioner Purba
Rini Fitri ■ Junairiah ■ Ika Ayu Putri Septyani
Maria Paulina ■ Taufiq Bachtiar



Sifat dan Morfologi Tanah

UU 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Perlindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- a. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- b. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- c. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- d. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).

Sifat dan Morfologi Tanah

Mursyid, Arniana Anwar, Adriani S A Siahaan, Iswahyudi
Ania Citraresmini, Halus Satriawan, Tioner Purba
Rini Fitri, Junairiah, Ika Ayu Putri Septyani
Maria Paulina, Taufiq Bachtiar



Penerbit Yayasan Kita Menulis

Sifat dan Morfologi Tanah

Copyright © Yayasan Kita Menulis, 2023

Penulis:

Mursyid, Arniana Anwar, Adriani S A Siahaan, Iswahyudi
Ania Citraresmini, Halus Satriawan, Tioner Purba
Rini Fitri, Junairiah, Ika Ayu Putri Septyani
Maria Paulina, Taufiq Bachtiar

Editor: Abdul Karim

Desain Sampul: Devy Dian Pratama, S.Kom.

Penerbit

Yayasan Kita Menulis

Web: kitamenulis.id

e-mail: press@kitamenulis.id

WA: 0821-6453-7176

IKAPI: 044/SUT/2021

Mursyid., dkk.

Sifat dan Morfologi Tanah

Yayasan Kita Menulis, 2023

xiv; 180 hlm; 16 x 23 cm

ISBN: 978-623-113-016-7

Cetakan 1, Oktober 2023

- I. Sifat dan Morfologi Tanah
- II. Yayasan Kita Menulis

Katalog Dalam Terbitan

Hak cipta dilindungi undang-undang

Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku tanpa
izin tertulis dari penerbit maupun penulis

Kata Pengantar

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas perkenan-Nya jualah buku Sifat dan Morfologi Tanah ini dapat diterbitkan. Sebuah buku yang membahas seputar tanah sebagai sebuah komponen penting dalam kehidupan manusia, terutama secara khusus tinjauan terhadap tanah sebagai bagian tak terpisahkan dari sektor pertanian.

Buku ini memuat secara ringkas namun cukup komprehensif seputar tanah khususnya dalam fungsinya sebagai media pertumbuhan tanaman. Mencakup konsep tanah, batasan-batasan, tekstur dan konsistensi, sifat dan morfologi serta seputar eksperimen berkaitan dengan tanah.

Secara rinci buku ini memuat 12 tulisan dengan judul masing-masing bab sebagai berikut:

Bab 1 Pengertian Dan Manfaat Tanah

Bab 2 Pentingnya Mengetahui Sifat Dan Morfologi Tanah

Bab 3 Batas - Batas Horison Tanah

Bab 4 Warna Tanah

Bab 5 Tekstur Dan Struktur Tanah

Bab 6 Konsistensi Tanah

Bab 7 Drainase Tanah

Bab 8 Aerasi Tanah

Bab 9 Kematangan Tanah

Bab 10 Sifat Kimia Tanah

Bab 11 Sifat Biologi Tanah

Bab 12 Pengambilan Sampel Dan Analisis Tanah

Disadari jika dalam penyusunan buku ini tak lepas dari adanya kekurangan, oleh karena itu sumbang saran dengan tangan terbuka akan kami terima.

Semoga buku ini memiliki manfaat yang bernilai bagi setiap pembaca.

Indonesia, Oktober 2023

Penulis

Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	xiii

Bab 1 Pengertian Dan Manfaat Tanah

1.1 Pendahuluan	1
1.2 Pengertian Tanah	2
1.3 Manfaat Tanah	6

Bab 2 Pentingnya Mengetahui Sifat Dan Morfologi Tanah

2.1 Pendahuluan	11
2.2 Pentingnya Mempelajari Sifat Tanah	12
2.3 Pentingnya Mengetahui Morfologi Tanah	14
2.4 Penilaian Kesuburan Tanah	15
2.4.1 Lahan Kering	16
2.4.2 Tanah Gambut	18
2.4.3 Tanah Sawah	19
2.5 Penentuan Kesesuaian Lahan	20

Bab 3 Batas - Batas Horison Tanah

3.1 Pengertian Lapisan Tanah	23
3.2 Horison Tanah	25
3.2.1 Horison O	26
3.2.2 Horison A	26
3.2.3 Horison E	27
3.2.4 Horison B	27
3.2.5 Horison C	27
3.2.6 Horison D Atau R	27
3.3 Jenis-jenis Tanah Pada Lapisan Tanah	28
3.4 Empat Macam Proses Yang Terjadi Pada Pembentukan Lapisan Tanah ...	30
3.5 Aktivitas Dan Tegakan Di Permukaan Tanah Mempengaruhi Batas Lapisan Tanah	33

Bab 4 Warna Tanah

4.1 Pendahuluan.....	35
4.2 Faktor-Faktor Yang Memengaruhi Warna Tanah	36
4.3 Manfaat Mengetahui Warna Tanah	40
4.4 Menentukan Warna Tanah Dengan Metode Munsell	41
4.5 Menafsirkan Warna Tanah	44
4.6 Mengidentifikasi Warna Tanah Dengan Smart Phone	47

Bab 5 Tekstur Dan Struktur Tanah

5.1 Tekstur Tanah	51
5.2 Struktur Tanah	57
5.2.1 Mekanisme Pembentukan Struktur	60
5.2.2 Faktor Yang Memengaruhi Pembentukan Agregat.....	63
5.2.3 Nilai Struktur Tanah	64

Bab 6 Konsistensi Tanah

6.1 Pengertian Konsistensi Tanah	67
6.2 Pengukuran Konsistensi Tanah	68
6.2.1. Konsistensi Tanah Basah	69
6.2.2 Penentuan Konsistensi Tanah Pada Kondisi Lembab	71
6.2.3 Penentuan Konsistensi Tanah Kering	73
6.2.4 Penentuan Konsistensi Tanah Menggunakan Angka Batas Atterberg	75
6.2.5 Penentuan Batas Plastik Di Lapangan - Metode Ulir	77
6.2.6 Perhitungan Indeks Plastisitas Dan Signifikansinya	78
6.2.7 Bagan Plastisitas Untuk Tanah Berbutir Halus	78

Bab 7 Drainase Tanah

7.1 Pengertian Drainase Tanah	81
7.2 Drainase Dalam Bidang Pertanian	82
7.3 Pengaruh Drainase Terhadap Tanah Pertanian	84
7.3.1 Erosi Tanah Dan Banjir.....	87
7.3.2 Kelembaban Tanah.....	88
7.3.3 Transportasi Nutrient Dan Pestisida.....	90
7.3.4 Aerasi Tanah	90
7.3.5 Suhu Tanah	91
7.3.6 Bahan-Bahan Beracun Dan Hama Penyakit	91
7.4 Sistem Tata Air	92

Bab 8 Aerasi Tanah

8.1 Komposisi Udara Tanah	93
8.2 Fungsi Oksigen Dalam Tanah	99

Bab 9 Kematangan Tanah

9.1 Pendahuluan.....	103
9.2 Kematangan Gambut	105
9.3 Jenis Gambut Berdasarkan Tingkat Kematangannya.....	105
9.4 Jenis Gambut Berdasarkan Tingkat Kesuburannya.....	106
9.5 Tingkat Kematangan Lahan Gambut Yang Terkonversi Menjadi Perkebunan Kelapa Sawit.....	106
9.6 Tingkat Kematangan Tanah Di Daerah Pasang Surut.....	108
9.7 Tingkat Kematangan Gambut Pada Di Daerah Pasang Surut Pada Dua Macam Penutupan Vegetasi.....	109
9.8 Hubungan Tingkat Kematangan Gambut Dengan Emisi Co2	109

Bab 10 Sifat Kimia Tanah

10.1 Pendahuluan.....	111
10.2 Ph Tanah	112
10.2.1 Ph Aktif (H ₂ o)	113
10.2.2 Ph Potensial (KCL).....	114
10.2.3 Delta Ph (Δ Ph)	115
10.3 Nitrogen Total.....	115
10.4 P-Tersedia	117
10.4.1 Retensi Fosfat.....	117
10.4.2 Reaksi Peningkatan P-Tersedia	118
10.5 Kapasitas Tukar Kation (Ktk)	119
10.5.1 Ktk Dan Ktk Efektif	120
10.5.2 Nilai Ktk Pada Koloid Utama.....	121
10.6 Basa – Basa Dapat Ditukar	123
10.6.1 Kalsium Dapat Ditukar (Ca-Dd)	123
10.6.2 Magnesium Dapat Ditukar (Mg-Dd)	123
10.6.3 Kalium Dapat Ditukar (K-Dd).....	123
10.7 Kejenuhan Basa Dan Kemasaman Dapat Ditukar (Kb Dan Kemasaman- Dd).....	124
10.7.1 Kemasaman Dapat Ditukar.....	124
10.7.2 Kejenuhan Basa	125
10.8 Koloid Tanah	126
10.8.1 Mineral Liat.....	126

10.8.2 Koloid Organik	127
Bab 11 Sifat Biologi Tanah	
11.1 Pendahuluan.....	129
11.2 Tanah Sebagai Tempat Hidup Mikroorganisme.....	129
11.2.1 Klasifikasi Biota Tanah.....	130
11.2.2 Klasifikasi Organisme Dalam Jaring Makanan.....	133
11.3 Peranan Bahan Organik Dan Humus.....	134
11.4 Daerah Perakaran Dan Rizosfer	136
11.5 Mikroorganisme Dan Makroorganisme Penghuni Tanah.....	137
11.5.1 Bakteri	137
11.5.2 Ganggang	138
11.5.3 Jamur	139
Bab 12 Pengambilan Sampel Dan Analisis Tanah	
12.1 Pengambilan Sampel Tanah	143
12.2 Prinsip Pengambilan Sampel Tanah	145
12.3 Analisis Tanah	152
12.3.1 Ph Tanah.....	154
12.3.2 Nitrogen Tanah	155
12.3.3 Fosfor Tanah	155
12.3.4 Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), Dan Natrium (Na)	156
12.3.5 C-Organik Tanah	156
12.3.6 Kapasitas Tukar Kation (Ktk).....	157
12.3.7 Unsur Mikro (Mikronutrien).....	157
12.3.8 Tekstur Tanah	157
Daftar Pustaka	159
Biodata Penulis	173

Daftar Gambar

Gambar 2.1: Horizon Tanah	15
Gambar 2.2: Peta Sebaran Tanah Gambut di Seluruh Dunia	18
Gambar 2.3: Profil Tanah Sawah Tipikal	19
Gambar 3.1: Profil Tanah Menggambarkan Horizon Tanah	24
Gambar 3.2: Horison Tanah Pada Pohon Dan Rerumputan	28
Gambar 3.3: Proses Pembentukan Lapisan Tanah.....	31
Gambar 4.1: Jenis Warna Tanah	40
Gambar 4.2: Lembar Buku Warna Tanah (Munsell Soil Collor Chart)....	42
Gambar 4.3: A) Munsell Hue, (B) Nilai Munsell, (C) Munsell Chroma (roda warna) dan (D) sistem warna Munsell yang lengkap, menunjukkan ketidakteragaman sumbu Chroma.	43
Gambar 4.4: Diagram yang menunjukkan hubungan antara Hue, Value dan Chroma.....	44
Gambar 4.5: Pengamatan Warna Tanah menggunakan buku Munsell Soil Color Chart di Lapangan	48
Gambar 4.6.: Pengamatan warna tanah dengan Smartphone	48
Gambar 5.1: Segitiga Tekstur Tanah	52
Gambar 5.2: Kelas Tekstur Tanah	53
Gambar 5.3: Teknik penentuan Tekstur Cara Perabaan.....	56
Gambar 6.1: Prosedur Pengujian Plastisitas Tanah Basah	70
Gambar 6.2: Prosedur Pengujian Konsistensi Tanah Lembab.....	71
Gambar 6.3: Prosedur Pengujian Konsistensi Tanah Kering.....	73
Gambar 6.4: Nilai Batas Atterberg.....	75
Gambar 6.5: Bagan Plastisitas untuk Tanah Berbutir Halus	79
Gambar 7.1: Aerasi buruk dan sistem perakaran dangkal (A) dapat di atasi melalui drainase (B), meningkatkan aerasi dan memungkinkan daerah perakaran lebih dalam	86
Gambar 7.2: Ciri-Ciri Tanah Pada Kondisi Drainase Buruk	89
Gambar 8.1: Aliran air dari bawah ke atas pada tanaman: kohesi dan adhesi, serta transpirasi	101
Gambar 10.1: Ilustrasi pH aktif pada larutan tanah.....	113

Gambar 10.2: Ilustrasi pH Potensial Pada Kompleks Jerapan Tanah	114
Gambar 10.3: Grafik Hubungan pH dengan KTK Tanah.....	120
Gambar 10.4: Lapisan Interlayer Pada Mineral Kaolinit.....	122
Gambar 10.5: Grafik Hubungan pH tanah dengan Kejenuhan Basa	125
Gambar 10.6: Koloid Organik.....	128
Gambar 11.1: Jaring Makanan Tanah Yang Disederhanakan Yang Menekankan Hubungan Trofik (Makan) Dan Peran Fungsional Biota Tanah	134
Gambar 11.2: Siklus Karbon	135
Gambar 11.3: Pengaplikasian Actinomycetes.....	138
Gambar 11.4: Perbedaan antara Kolonisasi Ektomikoriza Dan Endomikoriza Pada Akar Tanaman	140
Gambar 12.1: Di sebelah kiri: skema pembagian dan pengambilan sampel untuk kondisi lahan miring dengan area atas, tengah, dan bawah yang berbeda. Lingkaran mewakili sub-sampel lokasi yang digabungkan untuk masing-masing dari tiga area. Di sebelah kanan: pengambilan sampel grid suatu bidang. Setiap sampel dianalisis secara terpisah untuk mengevaluasi lapangan variabilitas	147
Gambar 12.2: Di sebelah kiri: pengambilan contoh tanah dengan core drilling. Di sebelah kanan: hasil pengambilan sampel core pada berbagai kedalaman. (sumber: koleksi pribadi) .	150
Gambar 12.3: Di sebelah kiri: proses pengambilan dan pengumpulan contoh tanah dengan ring sampler. Di sebelah kanan: hasil pengambilan sampel dengan ring sampler yang telah diberi kode informasi kegiatan. (sumber: koleksi pribadi).....	151
Gambar 12.4: Di sebelah kiri: proses penanganan contoh tanah di laboratorium. Di sebelah kanan: penyimpanan contoh tanah dalam wadah khusus untuk analisis tanah. (sumber: koleksi pribadi) .	151

Daftar Tabel

Tabel 2.1: Sifat Tanah pada Sistem Pertanian Konvensional dan Organik	14
Tabel 2.2: Luas Lahan Kering Iklim Kering berdasarkan Kepulauan di Indonesia	17
Tabel 2.3: Arahan Penggunaan Lahan untuk Komoditas Pertanian di Kabupaten Aceh Barat	21
Tabel 3.1: Sepuluh (10) Set Referensi Kelompok Tanah.....	31
Tabel 4.1: Sifat Mineral	44
Tabel 5.1: Ciri dan Identitas Tekstur Hasil Perabaan Dari Berbagai Kelas Tekstur Tanah.....	54
Tabel 5.2: Tipe-tipe Struktur Tanah Dan Deskripsinya.....	58
Tabel 5.3: Keterkaitan dan Perbedaan Tekstur Dan Struktur Tanah	65
Tabel 6.1: Konsistensi Tanah basah.....	69
Tabel 7.1: Karakteristik Kelas Drainase Tanah untuk Evaluasi Lahan	83
Tabel 8.1: Komposisi Udara di beberapa Tempat	95
Tabel 8.2: Komposisi gas - gas dalam Udara Tanah	95
Tabel 8.3: Komposisi gas - gas dalam Atmosfer	96
Tabel 8.4: Faktor yang Memengaruhi Kandungan CO ₂ dan O ₂ Udara Tanah	97
Tabel 8.5: Hubungan Kedalaman Tanah, Tekstur dan Komposisi Udara Tanah	98
Tabel 10.1: Kriteria pH aktif pada Larutan Tanah	113
Tabel 10.2: Nilai KTK Tanah Berdasarkan Jenis Koloid Tanah.....	121
Tabel 10.3: Perbedaan nilai KTK pada Tanah	122
Tabel 10.4: Nilai Kejenuhan Aluminium dan Aluminium dapat ditukar untuk Kebutuhan Tanaman.....	124
Tabel 11.1: Klasifikasi organisme tanah.....	130
Tabel 11.2: Pengelompokan Organisme menurut sumber energi dan C.....	130
Tabel 11.3: Hubungan antara Fungsi Tanah dan Jasa Ekologi	132
Tabel 11.4: Makroorganisme Tanah dan Peranannya	141

Bab 1

Pengertian dan Manfaat Tanah

1.1 Pendahuluan

Tanah adalah komponen abiotik ditinjau dari awal terbentuknya, namun merupakan komponen biotik dilihat dari kedudukan dan fungsinya sebagai sumber kehidupan di alam semesta. Sistem di alam semesta mencerminkan ketergantungan komponen biotik terhadap komponen abiotik, kehidupan bergantung pada banyak sekali unsur-unsur yang diberi gelar benda mati, yang dapat berupa mineral padatan, juga unsur gas dan cair.

Manusia sebagai makhluk yang diciptakan untuk memakmurkan bumi, untuk menjaga keberlangsungan hidupnya bergantung pada alam semesta. Peradaban manusia dimulai dengan memanfaatkan hasil bumi dari biji-bijian, buah-buahan dan hewan buruan, dengan kehidupan nomaden, kemudian berkembang menjadi aktivitas bercocok tanam untuk memenuhi kebutuhan mereka. Sejak awal peradaban manusia berinteraksi dengan sangat intens terhadap tanah.

Pada perkembangan selanjutnya, peradaban manusia pada suatu waktu memberi kontribusi positif bagi alam semesta, namun pada waktu yang lain eksploitasi mereka terhadap alam berdampak negatif; degradasi, kerusakan ekosistem dan sebagian bencana alam terjadi akibat eksplorasi yang tak terkendali.

Pada dasarnya alam semesta menyediakan sumber daya yang cukup, ditambah dengan kemampuan intelegensi manusia untuk mengelola dan meningkatkan produksi dan produktivitas, dalam konteks ini, paradigma Malthus dipertanyakan. Alam dapat memenuhi segala kebutuhan manusia, namun tidak pernah cukup untuk memenuhi ambisi dan keserakahan. Dengan demikian, keberlanjutan kehidupan manusia sangat bergantung pada kemampuan mereka mengelola lahan dengan tepat. Memandang tanah sebagai komponen biotik yang perlu terjaga kelestariannya dengan pengelolaan yang berkelanjutan. Pada saat yang sama memandang sesama sebagai orang-orang yang berhak menikmati dengan adil hasil-hasil lahan pertanian.

1.2 Pengertian Tanah

Ilmu tanah terdiri atas dua bagian, edafologi yang berasal dari Bahasa Yunani, yaitu *edaphos* yang berarti bahan tanah subur dan *pedologi* yang berasal dari Bahasa Yunani, yaitu *pedo* yang berarti gumpalan tanah. Edafologi yaitu ilmu yang mempelajari tanah sebagai habitat mikroorganisme dan media untuk pertumbuhan tanah. Adapun pedologi adalah ilmu yang mempelajari tanah sebagai entitas geologi. (Hanafiah, KA, 2014). Tanah yang merupakan bagian dari lapisan kerak bumi berupa mineral serta bahan organik. Tanah berperan secara vital bagi kehidupan di bumi, tanah menopang tumbuhan dengan cara menyediakan unsur hara dan air, serta sebagai tempat tegaknya tumbuhan.

Bagian paling atas dari tanah adalah litosfer yang secara alami merupakan media tumbuh tanaman dan menyediakan unsur hara untuk tanaman. Tanah terdiri dari empat bahan utama, yaitu mineral hara yang berasal dari bebatuan yang telah melalui proses pelapukan baik melalui pelapukan fisika, pelapukan kimiawi, dan pelapukan biologi, unsur air, unsur udara, dan komponen bahan organik. Persentase kandungan keempat bahan dasar tanah ini berbeda untuk setiap jenis tanah. Jika sumber daya tanah memiliki persentase hara yang lebih banyak dibandingkan bahan organiknya, maka disebut jenis tanah mineral, sedangkan jika bahan organiknya lebih banyak, maka disebut tanah humus (organik). Umumnya tanah dapat menyediakan 13 dari 16 unsur hara esensial yang diperlukan untuk tanaman (Eko Hadytanto dkk., 2017).

Tanah dengan struktur berongga, menjadikan tanah sebagai tempat yang baik bagi akar tanaman untuk tumbuh dengan subur. Tanah juga merupakan habitat berbagai macam mikroorganisme, sementara bagi sebagian besar hewan darat,

tanah menjadi lahannya untuk bergerak serta hidup. Ditinjau dari aspek klimatologi, tanah memiliki peranan penting sebagai penyimpan air serta dapat mengendalikan erosi, meskipun tanah juga dapat mengalami erosi. Komposisi tanah berbeda bergantung pada lokasinya. Tanah dalam Bahasa Inggris adalah soil, berasal dari Bahasa Perancis kuno yang merupakan turunan dari Bahasa latin, solum, yang berarti lantai atau dasar, yang dapat diartikan sebagai bagian paling dasar.

Tanah adalah permukaan bumi atau lapisan dari bumi yang paling atas; bahan dari bumi sebagai bahan antara lain seperti batu, pasir, cadas dan lainnya; tanah merupakan produk transformasi mineral serta bahan organik yang berada di permukaan bumi hingga kedalaman tertentu dan dipengaruhi oleh faktor genetik dan juga lingkungan.

Menurut Foth, tanah adalah bagian dari permukaan terpisah dari bumi serta bulan yang bukan bebatuan padat (Adisoemarto, S., 1994). Tanah adalah kumpulan dari benda alam yang terletak di atas permukaan bumi serta tersusun berdasar horizon. Tanah adalah campuran bahan organik, mineral, air dan udara yang menjadi media untuk pertumbuhan tanaman. Tanah menurut Berzelius adalah laboratorium kimia tempat terjadinya proses dekomposisi dan reaksi kimia yang berlangsung secara tersembunyi. Menurut Von Liebig tanah adalah sebuah tabung reaksi untuk dapat mengetahui jumlah serta jenis dari hara tanaman (Hardjowigeno, S., 2010).

Tanah selain sebagai tempat berpijak, juga difungsikan oleh manusia sebagai untuk mengembangkan sektor perkebunan, pertanian dan kehutanan. Berikut pengertian tanah menurut beberapa ahli tanah sesuai dengan latar belakang kajian bagian tanah. Menurut James Home, tanah merupakan salah satu sistem Bumi yang berhubungan dengan sistem Bumi lain, seperti udara dan air. Menurut Wenner, tanah adalah lapisan hitam tipis yang menutupi bahan padat kering. Lapisan ini terdiri atas partikel-partikel kecil yang mudah pecah (remah), sisa-sisa vegetasi dan hewan serta merupakan media tumbuh bagi tanaman. Menurut A. S. Thaer, tanah merupakan bahan-bahan remah dan lepas-lepas yang merupakan akumulasi serta campuran berbagai bahan terutama terdiri atas unsur Si, Al, Ca, Mg, Fe dan lainnya. Menurut J.J. Berzelius seorang ahli tanah dari Swedia mendefinisikan tanah sebagai laboratorium kimia sebagai tempat proses terjadinya dekomposisi dan reaksi kimia yang berlangsung secara tersembunyi (Hanafiah, K.A. 2014).

Beberapa ahli tanah dari Amerika Serikat merumuskan definisi tanah antara lain menurut E.W. Hilgard, tanah merupakan bahan mudah lepas dan remah, dapat dijelajahi oleh perakaran tanaman untuk mencapai bahan makanan dan sebagai tempat pertumbuhan bagi makhluk hidup lainnya. Menurut Jacob S. Joffe, tanah merupakan benda alam yang tersusun oleh horizon-horizon dan terdiri atas bahan-bahan kimia, mineral, serta bahan organik. Tanah biasanya tidak padu dan memiliki sifat yang dapat dibedakan dalam hal morfologi, fisika, kimia dan biologi.

Menurut Soil Survey Manual-United States Department of Agriculture, tanah merupakan kumpulan tubuh-tubuh alam di permukaan bumi, di beberapa tempat diubah atau dibuat oleh manusia menjadi bentuk-bentuk tertentu serta menopang kehidupan sejumlah makhluk hidup. Menurut William David Thornbury, tanah adalah lapisan sejajar dengan permukaan bumi sebagai hasil modifikasi oleh proses-proses fisika, kimia dan biologi yang bekerja di bawah kondisi bermacam-macam serta bekerja selama periode tertentu. (Septiyani, E., 2020).

Pengertian tanah menurut beberapa ahli Jerman diantaranya, yaitu: Menurut Alfred Mitscherlich, tanah adalah campuran bahan padat berupa partikel-partikel kecil air dan udara yang mengandung hara serta dapat menumbuhkan tumbuhan. Menurut Diedrich Schroeder, tanah merupakan hasil pengalihan bahan mineral dan organik yang berlangsung di permukaan Bumi, akibat pengaruh faktor-faktor lingkungan yang bekerja selama waktu panjang. Menurut Justus Von Liebig, tanah adalah tabung reaksi dan di dalamnya dapat diketahui jumlah dan jenis hara tanamannya. Menurut K.V Raman, tanah adalah bahan batuan yang sudah dirombak menjadi partikel-partikel kecil dan telah berubah secara kimiawi bersama-sama dengan sisa-sisa tumbuhan serta hewan yang hidup di dalam dan di atasnya. Menurut Friedrich Fallon, tanah adalah sebagai lapisan Bumi teratas yang terbentuk dari batuan-batuan lapuk (Septiyani, E., 2020).

Pengertian tanah menurut Dokuchaev dihubungkan dengan iklim dan digambarkan sebagai zona geografi yang cukup luas, dalam skala peta dunia tanah tidak hanya dihubungkan dengan iklim namun juga dihubungkan dengan lingkungan tumbuhan. Tanah menurut A.S Thaer adalah permukaan planet yang terdiri dari bahan rempah serta lepas yang disebut dengan tanah dan merupakan akumulasi serta campuran dari berbagai bahan, seperti unsur Si, Ca, Al, Mg, Fe dan lainnya. Menurut C.F Marbut, Tanah adalah lapisan yang berada di paling luar kulit bumi dan biasanya memiliki sifat tidak padu serta

memiliki sifat tebal mulai dari selaput yang tipis hingga lebih dari 3 meter yang berbeda dari bahan di bawahnya dalam hal sifat fisik, warna, sifat kimia dan sifat biologi. Menurut Ramman, tanah merupakan bahan-bahan bebatuan yang telah dirombak hingga menjadi partikel kecil yang telah berubah secara kimiawi bersamaan dengan sisa tumbuhan serta hewan yang hidup di dalam maupun di atasnya (Hanafiah, K.A. 2014).

Pengertian tanah menurut beberapa ahli tanah dari Indonesia, menurut M. Isa Darmawijaya (1990), tanah adalah akumulasi tubuh alam bebas yang menduduki sebagian besar permukaan bumi. Menurut E. Saifudin Sarief (1986), tanah merupakan benda alami di permukaan bumi yang tersusun dari bahan-bahan mineral sebagai hasil pelapukan batu dan bahan organik (sisa tumbuhan dan hewan). Tanah sebagai media pertumbuhan tanaman dengan sifat-sifat tertentu terbentuk karena sejumlah faktor, seperti iklim, bahan induk, jasad hidup, topografi dan waktu. Menurut Sitanala Arsyad (2012), mendefinisikan tanah sebagai suatu benda alami heterogen yang terdiri atas komponen-komponen padat, cair dan gas yang memiliki sifat serta perilaku dinamis.

Pengertian tanah menurut beberapa ahli dari Rusia, antara lain menurut C.F. Marbut, mendefinisikan tanah sebagai lapisan luar kulit Bumi yang tidak padu dan gembur serta memiliki sifat tertentu yang berbeda dengan bahan di bawahnya dalam hal warna, struktur, sifat fisika, susunan kimia, sifat biologi dan morfologinya. Menurut V.V Dokuchaev, tanah merupakan benda alam berdimensi tiga (panjang, lebar dan dalam), terletak di bagian atas kulit Bumi dan memiliki sifat-sifat berbeda dengan bagian bawahnya sebagai hasil kerja interaksi antara iklim, aktivitas organisme dan bahan induk selama kurun waktu tertentu (Septiyani, E., 2022).

Konsep ilmu tanah yang dilandasi oleh keilmuan kimia serta geologi dipelopori oleh seorang pakar bernama Justus Von Liebig, pakar asal Jerman yang mendasari konsep ilmu tanah yang berkembang di Amerika Serikat. Konsep mengenai tanah disebut sebagai teori keseimbangan, tanah adalah tempat cadangan bagi hara yang suatu saat dapat diserap oleh tanaman yang keberadaannya dapat digantikan oleh pupuk kapur, pupuk kandang maupun pupuk kimia. Teori tentang konsep tanah ini dikenal pula dengan nama Hukum Minimum Liebig (Hanafiah, K.A., 2014).

Adanya penambahan bahan-bahan organik pada bagian atas mantel yang lapuk atau disebut dengan regolit, regolith dapat terkena erosi dan akhirnya diangkut

ke samudera, tanah lalu dianggap sebagai batuan dalam perjalanan ke laut dan bertindak sebagai media untuk tanaman tumbuh.

Konsep tanah selanjutnya adalah tanah dianggap sebagai campuran bahan dan dianggap sebagai salah satu dari 4 komponen dasar dari seluruh benda, selain air, api dan udara. Konsep tanah sebagai campuran bahan-bahan berguna untuk membahas tanah sebagai teknik, tanah lalu dibagi menjadi 3 fase dan tanah diklasifikasikan lagi sebagai produk buatan pabrik. Tanah adalah bahan teknik yaitu bahan yang tidak terkonsolidasi atau dikokohkan. Tanah tersusun dari partikel padat yang terpisah dengan gas, cairan serta menduduki ruangan antar partikel tersebut.

1.3 Manfaat Tanah

Tanah memiliki sangat banyak manfaat. Tanah berperan bagi tanaman sebagai tempat untuk tumbuh dan berkembang. Tanah berperan untuk menyediakan air dan berbagai macam unsur, baik mikro atau makro. Tanah menyediakan oksigen yang penting bagi setiap makhluk hidup. Tanah memiliki peran sebagai tempat hidup bagi organisme serta mikroorganisme, termasuk manusia. Tanah juga berfungsi sebagai tempat berbagai macam vegetasi yang ada di atasnya. Tanah memiliki fungsi sebagai buffer system atau penyangga, yang berarti jika ada senyawa yang memiliki sifat beracun atau pencemar di dalam tanah, maka tanah akan otomatis menetralsir bahan-bahan dan senyawa tersebut (Arsyad. S., 2012).

Tanah sebagai penyedia kebutuhan primer bagi tanaman, seperti udara, air dan unsur hara. Penyedia kebutuhan sekunder tanaman dan zat pemacu tumbuhan seperti vitamin, hormon, asam organik, antibiotik, toksin anti hama, dan enzim yang mampu meningkatkan kesediaan unsur hara.

Tanah adalah sumber daya alam yang vital dan penting bagi seluruh makhluk hidup di bumi. Tanpa adanya tanah, maka tidak akan ada kehidupan di muka bumi ini, khususnya di daratan. Tanah juga menjadi media yang sangat baik untuk menanam tumbuhan, tanah dengan jenis berbeda, akan ikut memberikan pengaruh pada tanaman yang ditanam pula. Akar tanaman harus tumbuh dengan baik, sehingga akar mampu menyerap berbagai macam unsur yang terkandung dalam tanah dan agar mampu menopang tanaman dengan cukup baik. Tanah adalah tempat tumbuh dan tempat berkembangnya akar tanaman.

Tanah memiliki dua peran utama yaitu sebagai penyokong agar tanaman dapat tumbuh dengan tegas dan tribus serta berperan sebagai penyerap zat yang dibutuhkan oleh tanaman untuk tumbuhan.

Tanaman sebagaimana manusia dan makhluk hidup lainnya memiliki kebutuhan primer yang harus terpenuhi. Tanah menjadi media untuk menyediakan kebutuhan primer bagi tanaman agar tanaman mampu melaksanakan aktivitas metabolisme selama proses pertumbuhan dan agar tanaman tersebut dapat berproduksi. Beberapa kebutuhan primer dari tanaman adalah air dan unsur hara.

Tanah tidak hanya berfungsi sebagai penyedia kebutuhan primer tanaman saja, tetapi juga berfungsi sebagai penyedia kebutuhan sekunder untuk tanaman. Kebutuhan sekunder tanaman adalah zat aditif yang diproduksi oleh biota-biota, terutama mikroflora tanah contohnya seperti zat pemacu tumbuhan (vitamin, hormon dan asam organik), antibiotik serta toksin yang memiliki fungsi sebagai anti penyakit tanaman yang ada pada tanah, senyawa ataupun enzim yang berfungsi sebagai penyedia kebutuhan primer atau transformasi dari zat toksin eksternal seperti limbah industri yang beracun atau pestisida (Sutarman dan Miftakhurrohmat, A., 2019).

Fungsi tanah untuk tumbuhan selanjutnya adalah sebagai habitat bagi biota tanah baik yang memberikan dampak positif atau negatif, baik secara langsung atau tidak langsung. Tanah berperan sebagai habitat biota tanah, baik biota yang memberikan dampak positif dikarenakan terlibat secara langsung atau tidak langsung dalam penyediaan kebutuhan primer maupun sekunder dan biota yang memberikan dampak negatif seperti penyakit tanaman dan hama.

Tanah adalah landasan yang menjadi pendukung kegiatan sekaligus menjadi tempat tinggal bagi makhluk hidup yang ada di bumi. Tanah adalah landasan yang digunakan untuk melakukan segala aktivitas untuk mendukung kehidupan.

Tanah juga memiliki fungsi sebagai penyangga secara fisik, penyedia udara, penyedia air, pengatur suhu, pengendali bahan beracun, dan penyedia hara. Dalam melakukan fungsinya sebagai penyangga, tanah memengaruhi daya jangkar akar tumbuhan melalui kedalaman dan jenis tanah. Sebagai contoh, tanah mineral lebih kuat menopang tumbuhan, dibandingkan tanah gambut. Selain itu, dalam melakukan fungsinya sebagai pengendali bahan beracun, tanah secara alami mampu melakukan ventilasi gas, dekomposisi bahan

beracun organik, maupun menghancurkan bahan beracun menggunakan mikroorganisme.

Kemampuan tanah membuat air menjadi bersih dengan menyaring dan melakukan detoksifikasi secara alami terhadap polutan bahan organik yang masuk ke tanah. Untuk tanah yang memiliki tingkat permeabilitas tinggi, air hujan akan diserap dan disimpan dalam tanah, kemudian dimanfaatkan tumbuhan secara berkelanjutan, dan digunakan untuk mengisi air bawah tanah, sungai, serta danau.

Tanah dapat menguraikan sisa bahan organik menjadi humus, dan melepas mineral guna dimanfaatkan kembali oleh biota tanah (Sutedjo, M.M., 2002). Hasil dekomposisi CO₂ dapat diserap tumbuhan melalui proses fotosintesis untuk membentuk biomassa sebelum dilepaskan ke atmosfer. Setelahnya tumbuhan akan mati dan kembali ke tanah setelah mengalami proses dekomposisi menjadi bahan organik tanah. Hal ini terus berulang dan menjadi suatu siklus hidup. Tanah merupakan bagian dari alam yang dapat berinteraksi langsung dengan berbagai lapisan atmosfer. Lewat ruang pori yang dimilikinya, tanah mampu mengalirkan dan melepas gas ke atmosfer. Tanah juga mampu melakukan respirasi dengan memasukkan O₂ dan melepas CO₂ ke atmosfer. Meski secara alami, emisi gas CO₂ dari respirasi tanah terlepas ke atmosfer. Tetapi melalui daur ulang alami dan pengelolaan tanah berkelanjutan, emisi gas CO₂ akan berkurang, dan kapasitas tanah untuk menyimpan karbon (C-Sequestration) akan meningkat.

Tanah merupakan daerah peralihan di antara yang hidup dengan yang mati, tanah menjadi tempat tanaman untuk menggabungkan energi surya serta karbondioksida dari atmosfer dengan hara maupun air dari tanah dan diubah menjadi jaringan hidup.

Tanah merupakan sistem 3 fase yang terdiri dari cairan, padatan atau gas. Fase padat terdiri dari partikel mineral yang membentuk kerangka padat humus atau partikel organik yang telah teradsorpsi. Sementara itu, fase cair kebanyakan merupakan air hasil dari presipitasi yang ada sebagai lapisan yang mengelilingi partikel dari fase padat dan menduduki ruangan pori yang jauh lebih kecil. Ruangan pori dengan ukuran yang lebih besar, akan terisi oleh gas kecuali tanah dan atmosfer. Kegiatan biologis yang terjadi di dalam tanah, seperti pernapasan akar, penguraian bahan organik, menyerap oksigen dan akan menghasilkan karbondioksida. Maka akibatnya, akan ada difusi atau

penyebaran oksigen secara terus menerus dari atmosfer hingga ke dalam tanah dan karbondioksida menyebar dari tanah ke atmosfer (Hanafiah, K.A., 2014)

Besaran volume udara atau air memiliki hubungan timbal balik secara langsung antara satu dengan lainnya melalui drainase, penguapan tanaman. Ruang pori yang diduduki oleh air akan terisi udara kembali. Lapisan tanah yang berada di bawah memiliki ciri seperti bahan organik yang jauh lebih sedikit dibandingkan tanah yang berada di atas permukaan. Tanah organik gambut memiliki lebih banyak bahan organik yang akan mendukung secara optimal pertumbuhan tanaman.

Bab 2

Pentingnya Mengetahui Sifat dan Morfologi Tanah

2.1 Pendahuluan

Tanah adalah salah satu sumberdaya yang memiliki peranan sangat vital terhadap kelangsungan hidup berbagai organisme. Tanah merupakan bagian dari kerak bumi yang pada umumnya tersusun dari mineral hasil pelapukan batuan dan juga bahan organik sisa tumbuhan dan juga hewan. Jika dijabarkan lebih dalam, maka akan ditemukan empat komponen utama bahan penyusun tanah yaitu bahan padat mineral, bahan padat organik, air dan juga udara. Tanah hadir dengan berbagai sifat dan karakter yang dimilikinya. Selain akibat pengaruh bahan induk penyusun tanah, ada faktor lain yang juga turut andil dalam memengaruhi sifat tanah yaitu iklim, organisme hidup, bentuk wilayah dan juga waktu pembentukannya.

Tanah adalah lapisan teratas bumi, hal ini sekaligus menjadikan tanah sebagai tempat tumbuhnya tanaman. Sifat tanah akan memiliki peranan penting dalam memengaruhi perakaran tanaman. Akar inilah yang memiliki banyak fungsi penting diantaranya menegakkan tanaman, menyerap nutrisi dari dalam tanah, dan juga membantu dalam proses fotosintesis (Purba et al. 2021). Tanah yang dikatakan baik untuk pertumbuhan tanaman adalah tanah yang subur.

Kesuburan tanah merupakan kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara dalam jumlah yang seimbang untuk mendukung pertumbuhan dan juga produksi tanaman. Tingkat kesuburan tanah berbeda-beda antara satu lokasi dengan lokasi lainnya, dan kesuburan tanah ini merupakan perpaduan antara keseimbangan sifat fisik, kimia dan juga biologi. Ketiga unsur tersebut saling berkaitan antara satu dengan lainnya.

Sifat dan ciri dari suatu tanah akan memberikan gambaran mengenai suatu tanah di mana gambaran penampakan ini disebut sebagai morfologi tanah. Morfologi tanah ini sangat penting untuk diketahui untuk mendapatkan uraian mengenai profil tanah, ciri-ciri suatu tanah dan juga sifat umum dari tanah. Dengan mengetahui morfologi tanah maka akan tergambar perubahan dan evolusi yang terjadi dalam tanah dan dapat dijadikan sebagai informasi awal dalam penentuan klasifikasi tanah. Klasifikasi tanah ini penting untuk diketahui untuk menentukan sifat dan produktivitas suatu tanah.

2.2 Pentingnya Mempelajari Sifat tanah

Sifat tanah erat kaitannya dengan pertumbuhan tanaman. Dengan mengetahui sifat tanah maka dapat pula diketahui usaha-usaha apa yang perlu dilakukan untuk memperbaiki sifat tanah yang kurang sesuai untuk pertumbuhan tanaman. Adapun usaha tersebut bisa berupa pemupukan, pengapuran dan lain sebagainya. Secara umum sifat-sifat tanah diklasifikasikan menjadi tiga yaitu, sifat fisik, sifat biologi dan juga sifat kimia tanah.

Sifat fisik tanah merupakan sifat yang berhubungan dengan kesuburan tanah sehingga secara langsung dapat memengaruhi pertumbuhan dan produksi tanaman di atasnya. Sifat fisik tanah akan memengaruhi perakaran tanaman dalam penyerapan air dan juga unsur hara dari dalam tanah. Sifat fisik tanah meliputi: tekstur tanah, struktur tanah, konsistensi, bobot tanah, porositas, aerasi, temperatur dan juga warna tanah.

Sifat biologi tanah berkaitan dengan segala aktivitas makhluk hidup yang terjadi baik di dalam maupun permukaan tanah. Makhluk hidup ini diklasifikasikan oleh Hardjowigeno (2015) menjadi empat yaitu makrofauna, mikrofauna, makroflora dan juga mikroflora. Sifat biologi tanah ini berhubungan dengan proses penguraian bahan organik, proses mineralisasi, immobilisasi dan proses lainnya yang berlangsung dalam tanah. Protozoa

misalnya, merupakan mikrofauna yang memangsa bakteri. Akibat proses pemangsaan ini maka daur ulang unsur hara yang melibatkan bakteri akan terhambat prosesnya. Demikian juga mikroflora yang merupakan tanaman tingkat tinggi yang memiliki sistem perakaran yang kompleks dapat memengaruhi keseimbangan hara tanah karena penyerapan unsur-unsur hara oleh sistem perakaran tersebut.

Sifat kimia tanah pada umumnya ada sepuluh indikator (Asril et al. 2022) yaitu: pH tanah, kandungan karbon organik, kandungan nitrogen, rasio karbon dan nitrogen (C/N), kandungan fosfor tanah, kandungan kation basa, kandungan kation asam, kejenuhan basa (Kb), kapasitas tukar kation (KTK) dan kejenuhan aluminium. Hal yang menjadi fokus utama dalam sifat kimia tanah biasanya adalah pH tanah. Hal ini disebabkan karena pH tanah merupakan faktor penentu suatu unsur hara dapat diserap oleh tanaman. Unsur hara pada umumnya akan mudah diserap oleh akar tanaman pada pH sekitar netral. Untuk tanah dengan kondisi masam maka dapat dilakukan upaya peningkatan pH tanah dengan menambahkan kapur ke dalam tanah sedangkan untuk jenis tanah yang alkalis maka dapat ditambahkan belerang untuk menurunkan pH nya ke sekitar netral.

Dengan mempelajari berbagai sifat tanah maka dapat dilakukan upaya perbaikan kualitas tanah. Hal ini dikarenakan tidak semua tanah yang ada memiliki kondisi yang sama baiknya. Jenis tanah di rawa dengan kondisi pH yang terlalu masam menunjukkan kandungan sulfat yang tinggi sehingga hal ini dapat berdampak negatif bagi tanaman. Asam sulfat dengan kadar terlalu tinggi dapat menjadi racun bagi tanaman.

Saat ini perbaikan kualitas tanah dengan pemahaman konsep sifat-sifat tanah mengarah ke sistem pertanian organik banyak dilirik. Karena pertanian organik ini mengutamakan penggunaan bahan organik dalam perbaikan kualitas tanah sehingga lebih ramah lingkungan. Penelitian yang dilakukan oleh Margolang et al. (2015), sistem pertanian organik ini mampu memperbaiki karakteristik sifat fisik tanah (tabel 2.1).

Tabel 2.1: Sifat Tanah pada Sistem Pertanian Konvensional dan Organik (Margolang et al. 2015)

Sifat Tanah	Sistem Pertanian					
	Parameter	Pertanian Konvensional	Pertanian Organik 2010	Pertanian Organik 2005		
Sifat Fisik Tanah	Tekstur Tanah	% Pasir	8,33	8,33	8,00	
		% Debu	85,67	86,00	86,00	
		% Liat	6,00	5,67	6,00	
		Nama tekstur tanah	Lempung berdebu	Lempung berdebu	Lempung berdebu	
Sifat Kimia Tanah	Warna Tanah	Kedalaman 0-20 cm	2,5 Y 4/2 ^{Dp}	10 YR 4/3 ^{Dh}	10 YR 4/3 ^{Dh}	
		Kedalaman >20 cm	5 Y 3/2 ^{Gh}	5 YR 4/2 ^{Gh}	5 YR 4/2 ^{Gh}	
	Struktur Tanah	Kedalaman 0-20 cm	Bentuk	Granular	Granular	Granular
			Ukuran	Halus	Sedang	Sedang
			Perkembangan	Lemah	Lemah	Lemah
	Kedalaman >20 cm	Bentuk	Gumpal	Gumpal	Gumpal	
		Ukuran	Sangat halus	Sangat halus	Sangat halus	
		Perkembangan	Lemah	Sedang	Sedang	
	Bulk Density Tanah (g/cm ³)		0,90	0,86	0,80	
	Total Ruang Pori Tanah (%)		54,81	58,50	61,10	
	Infiltrasi Tanah (cm/jam)		10 ^{Ac}	40 ^{Sc}	14 ^c	
	Petmeabilitas Tanah (cm ² /jam)		1,37 ^{Al}	2,76 ^s	3,46 ^s	
	Sifat Kimia Tanah	pH Tanah	5,81 ^{Am}	6,17 ^{Am}	5,83 ^{Am}	
C-organik Tanah (%)		0,84 ^{Sr}	0,76 ^{Sr}	0,86 ^{Sr}		
N-total Tanah (%)		0,174 ^t	0,166 ^t	0,175 ^t		
P-tersedia Tanah (ppm)		6,29 ^t	6,37 ^t	5,97 ^t		
K-tukar Tanah (me/100 g)		0,240 ^t	0,538 ^s	0,463 ^s		
Sifat Biologi Tanah	Respirasi Tanah (mg CO ₂ /100 g)	3,86 ^t	6,29 ^t	7,29 ^t		
	Jumlah Mikroorganisme Tanah (x 10 ⁵ /g)	1,03	4,87	76,50		
	Populasi Cacing Tanah (individu/m ²)	13,07	47,73	42,67		

Ket : Dgy: Dark grayish yellow Ob: Olive black Am: Agak masam r : Rendah Sr : Sangat rendah
 Dpb: Dull rettowish brown Ac: Agak cepat c : Cepat s : Sedang t : Tinggi
 Gb : Grayish brown Al : Agak lambat I : Ideal Sc : Sangat cepat

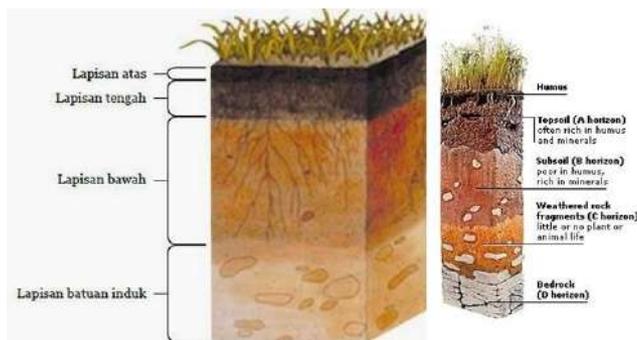
2.3 Pentingnya Mengetahui Morfologi Tanah

Morfologi tanah merupakan bentuk dan susunan kenampakan tanah secara langsung. Dalam morfologi tanah dapat diamati ciri-ciri dan sifat yang menyertai setiap lapisan tanah. Menurut Hardjowigeno (2015) lapisan tanah terbentuk disebabkan oleh dua hal:

1. Genangan air yang mengalami pengendapan yang berulang. Dalam hal ini apabila genangan air terus mengalir dengan kecepatan yang

tinggi maka yang dapat diendapkan hanya butiran kasar seperti pasir dan kerikil. Dan sebaliknya jika air yang menggenang tidak mengalir maka butiran halus saja yang bisa diendapkan seperti liat dan debu.

2. Proses pembentukan tanah yang bermula dari proses pelapukan batuan induk menjadi bahan induk tanah, proses pencampuran bahan organik dan mineral di permukaan tanah dan berbagai proses lainnya yang dapat membentuk horizon atau lapisan-lapisan tanah.



Gambar 2.1:Horizon Tanah

Horizon tanah ini yang kemudian menentukan penggunaan lahan karena berkaitan dengan sifat tanah khas yang dimiliki tiap lapisan. Lapisan atas merupakan lapisan untuk menentukan pertumbuhan akar tanaman, jika lapisan atas sedikit maka pertumbuhan akar juga akan terhambat dan sebaliknya.

2.4 Penilaian Kesuburan Tanah

Tanah tidak selalu dapat dikatakan subur walaupun semua unsur hara berada dalam tanah. Unsur hara tidak dapat serta merta diserap langsung oleh tanaman, melainkan harus dalam bentuk ion yang terlarut dalam tanah. Selain itu unsur hara harus tersedia dalam jumlah yang cukup agar tanaman dapat mencapai pertumbuhan yang optimum. Unsur hara yang dibutuhkan tanaman dibagi menjadi dua yaitu unsur hara makro dan mikro. Unsur hara makro merupakan unsur hara esensial yang diperlukan dalam jumlah banyak (konsentrasi 1000 mg/kg bahan kering), meliputi Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), dan Belerang atau Sulfur (S).

Sedangkan unsur hara mikro merupakan unsur hara yang diperlukan dalam jumlah sedikit (konsentrasi 100 mg/kg bahan kering) yaitu Boron (B), Tembaga (Cu), Zinc (Zn), Besi (Fe), Molibdenum (Mo), Mangan (Mn), Klor (Cl), Natrium (Na), Cobalt (Co), Silikon (Si), dan Nikel (Ni).

Tanah harus dapat memasok unsur hara dalam jumlah yang cukup dan dalam bentuk yang dapat diserap oleh tanaman dengan demikian tanah dapat dikatakan subur. Menurut Handayanto et al. (2017), terdapat lima prinsip dasar pengelolaan kesuburan tanah dalam hal sistem pertanian berkelanjutan:

1. Unsur hara yang telah digunakan oleh tanaman untuk proses fisiologi harus diganti/ditambahkan
2. Kondisi sifat fisik tanah harus dipertahankan, artinya kandungan bahan organik tidak boleh berkurang, sedikitnya tetap dan sebaiknya meningkat.
3. Harus tidak ada pertumbuhan gulma dan penyakit
4. Kemasaman tanah dan unsur beracun tidak boleh meningkat
5. Erosi tanah harus dikendalikan agar sama atau lebih kecil dari kecepatan pembentukan tanah.

Sifat dan morfologi tanah yang berbeda-beda antara jenis tanah satu dengan lainnya menyebabkan tingkat kesuburan tanah juga berbeda, baik antara tanah hutan, tanah gambut dan sawah. Hal ini berimplikasi dengan kesesuaian vegetasi yang dapat tumbuh dengan baik tipe ekosistem tersebut.

2.4.1 Lahan Kering

Tanah yang berada di lahan kering tropika basah merupakan tanah yang rentan terhadap degradasi. Ada berbagai macam penyebabnya baik karena faktor alami juga dapat disebabkan oleh campur tangan manusia. Namun, penyebab degradasi tanah yang paling dominan pada lahan kering adalah erosi tanah oleh air. Selain itu, proses pembentukan tanah pada lahan beriklim kering berjalan lambat sehingga menyebabkan kondisi solum menjadi dangkal (Matheus, 2019). Sifat fisik tanah juga menjadi penentu baik atau buruknya kualitas tanah.

Penelitian sifat fisik tanah yang dilakukan oleh Hartanto et al. (2022), pada lahan kering menunjukkan berat volume 1,12 hingga 2,11 g.cm⁻³. Adapun berat volume ideal untuk tanah yang baik untuk perkembangan akar sekitar 1,0

g.cm-3. Semakin kecil bobot isi tanah maka semakin gembur tanah tersebut, dan sebaliknya semakin besar bobot isi maka semakin padat tanah tersebut. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pemadatan tanah pada lahan kering di lokasi penelitian. Pemadatan ini tentunya tidak diinginkan karena dapat menurunkan aerasi tanah, mengurangi air tersedia, pertumbuhan akar dan perkecambahan tanaman juga dapat terhambat.

Secara umum pelapukan batuan induk di wilayah yang memiliki iklim kering tidak sebaik pada wilayah yang beriklim basah. Hal ini mengakibatkan pembentukan tanah terhambat dan solum tanah dangkal, berbatu dan banyak ditemukan singkapan batuan. Kondisi lahan seperti ini banyak ditemukan di NTT dan juga NTB (Heryani dan Popi, 2019).

Tabel 2.2: Luas Lahan Kering Iklim Kering berdasarkan kepulauan di Indonesia (Mulyani dan Sarwani 2013)

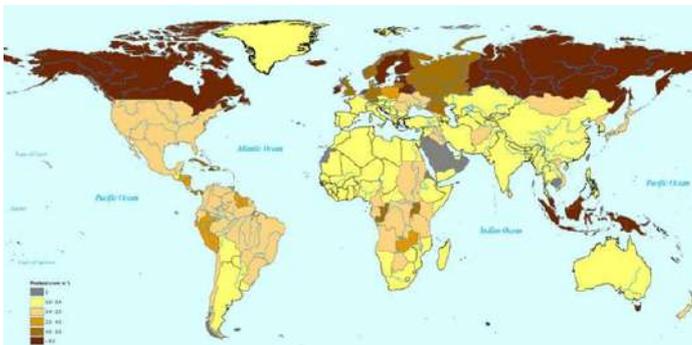
No	Pulau	Lahan kering iklim kering (Ha)
1.	Jawa	3.261.130
2.	Bali dan Nusa Tenggara	4.581.331
3.	Sumatera	197.913
4.	Kalimantan	131.774
5.	Sulawesi	3.726.195
6.	Maluku dan Maluku Utara	1.027.827
7.	Papua dan Papua Barat	345.924
	Indonesia	13.272.094

Meskipun memiliki kualitas tanah kurang optimal, namun pada masa yang akan datang dimungkinkan Indonesiakan semakin bertumpu pada pertanian lahan kering. Hal ini dikarenakan perkembangan teknologi yang adaptif terhadap perubahan iklim global di wilayah tropis. Jika dilihat lebih dalam lagi maka faktor pembatas utama pada lahan kering adalah air. Oleh karena itu upaya penting yang dapat dilakukan adalah pengelolaan air agar pengelolaan lahan kering dapat berhasil. Usaha lain yang dapat dilakukan adalah pemupukan berimbang, pengelolaan bahan organik, ameliorasi dan juga konservasi tanah (Heryani dan Popi, 2019).

2.4.2 Tanah Gambut

Lahan rawa gambut merupakan lahan yang memiliki tanah yang kaya akan bahan organik (C-organik > 18%) dengan ketebalan 50 cm atau bahkan lebih. Bahan organik yang terbentuk merupakan sisa tanaman yang belum melalui proses pelapukan dengan sempurna karena kondisi lingkungan yang jenuh air dan miskin akan unsur hara. Hal ini sesuai dengan yang dikemukakan oleh Lesmana (2022) bahwa Lahan gambut merupakan bentangan lahan hasil dari dekomposisi tidak sempurna yang dihasilkan dari vegetasi pepohonan yang tergenang air sehingga bersifat anerob.

Indonesia termasuk dalam zona tropis dan memiliki areal gambut yang cukup luas. Indonesia memiliki luas lahan gambut sekitar 22,5 juta hektar dan termasuk dalam lima besar negara pemilik lahan gambut terluas di dunia. Sumatera Utara adalah salah satu dari 10 provinsi dengan lahan gambut terluas di Indonesia dengan luas 0,6 juta hektar (CIFOR, 2019). Kalimantan juga memiliki lahan gambut yang tidak kalah luas yaitu sekitar 5,76 juta Ha (Lesmana, 2022).



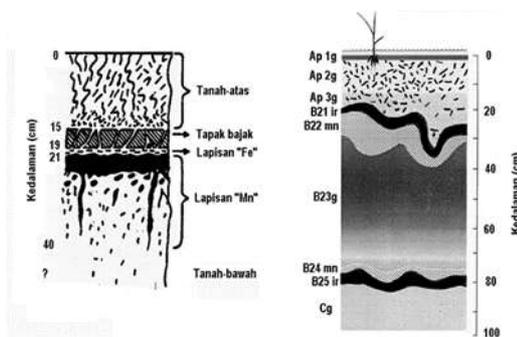
Gambar 2.2: Peta Sebaran Tanah Gambut di Seluruh Dunia
(Sumber:Wetland Indonesia)

Tanah gambut secara umum memiliki kadar pH yang rendah, memiliki kapasitas tukar kation (KTK) yang tinggi, kejenuhan basa rendah dan juga memiliki kandungan unsur mikro (Cu, Zn, Mn, dan B) yang rendah (Sasli, 2011). Sifat kimia yang dimilikinya ini bervariasi tergantung pada tingkat kesuburan dan kematangannya, kedalaman lapisan, jenis bahan organik pembentuknya dan jenis lapisan bawahnya (Permatasari dkk, 2021). Lahan gambut merupakan lahan potensial untuk dijadikan sebagai lahan pertanian, oleh karena itu saat ini pemanfaatan lahan gambut mendapatkan perhatian

besar. Sifat fisik tanah gambut adalah faktor penentu tingkat produktivitas tanaman yang diusahakan, hal ini berkaitan dengan penentuan kondisi aerasi, drainase, daya menahan beban, serta tingkat atau potensi degradasi lahan gambut (Lesmana 2022). Menurut Agus dan Subiksa (2008), pemanfaatan lahan gambut untuk pertanian, karakteristik atau sifat fisik gambut yang penting untuk dipelajari adalah kematangan gambut, kadar air, berat isi (bulk density), daya menahan beban (bearing capacity), penurunan permukaan tanah (subsidence), sifat kering tak balik (irreversible drying).

2.4.3 Tanah Sawah

Tanah sawah adalah tanah yang digunakan untuk bertanam padi sawah, baik terus menerus maupun ditanam bergiliran dengan tanaman palawija (Syachroni, 2019). Tanah sawah memiliki peranan sangat penting karena merupakan indikator kunci keberhasilan produksi padi. Seperti diketahui bahwa nasi adalah makanan pokok masyarakat Indonesia sehingga ketersediaan padi menjadi sangat penting. Tanah sawah identik dengan kondisi oksidasi-reduksi, hal ini mengakibatkan terjadinya perubahan karakteristik morfologi, sifat kimia dan juga biologi tanah. Kondisi penggenangan juga akan meningkatkan pH tanah menjadi netral 6,6-7,7.



Gambar 2.3: Profil Tanah Sawah Tipikal Menurut Koenings (1950) dan Moormann dan Van breemen (1978) dalam (Hardjowigeno et al. 2015)

Penyebab utama rendahnya kualitas tanah dan produktivitas tanah sawah adalah sifat-sifat kimianya. Faktor pembatas yang paling banyak ditemui adalah rendahnya ketersediaan fosfor tersedia dan karbon organik tanah untuk unsur makro sedangkan untuk unsur mikro kandungan fero dan mangan terlalu

tinggi (Rachman, 2020). Pengamatan beberapa wilayah di Indonesia menunjukkan bahwa kandungan pH tanah sebagian besar tanah sawah cenderung masam hingga sangat masam, kandungan bahan organik termasuk dalam golongan sedang hingga rendah sehingga untuk menyasiasi kondisi tersebut pemupukan harus terus dilakukan (Syachroni, 2019).

2.5 Penentuan Kesesuaian Lahan

Kesesuaian lahan adalah kesesuaian persyaratan tumbuh tanaman sesuai kelas karakteristik lahan yang diperoleh dari skor kemampuan lahan (Andrea et al. 2021). Berdasarkan Permen PU no. 20 tahun 2007, kemampuan lahan dapat ditinjau dari SKL Morfologi, SKL Kemudahan dikerjakan, SKL terhadap erosi, SKL pembuangan limbah dan SKL bencana alam. Sedangkan menurut FAO (1976) dalam Hardjowigeno (2015), klasifikasi kesesuaian lahan ada dua yaitu kualitatif dan kuantitatif. Kesesuaian lahan yang dapat dinyatakan dengan angka-angka dengan penilaian karakteristik (kualitas) lahan disebut sebagai kesesuaian lahan kuantitatif biasanya disertai dengan perhitungan ekonomi. Sedangkan kesesuaian lahan kualitatif adalah kesesuaian lahan yang ditentukan berdasarkan penilaian karakteristik lahan secara kualitatif (tidak dengan angka) dan tidak disertai dengan perhitungan ekonomi. Selain itu struktur klasifikasi kesesuaian lahan dapat dibedakan menurut tingkatannya, yaitu ordo, kelas, subkelas dan unit. Pada tingkat kelas dibedakan atas kelas sesuai (S), sesuai bersyarat (CS) dan tidak sesuai (N).

Ritning et al. (2007) membagi kesesuaian kelas lahan menjadi beberapa tingkatan:

1. Kelas S1 Sangat sesuai: Lahan tidak mempunyai faktor pembatas yang nyata terhadap penggunaan secara berkelanjutan, atau faktor pembatas bersifat minor dan tidak akan berpengaruh terhadap produktivitas lahan secara nyata.
2. Kelas S2 Cukup sesuai: Lahan mempunyai faktor pembatas, dan faktor pembatas ini akan berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan (input). Pembatas tersebut biasanya dapat di atasi oleh petani sendiri.

3. Kelas S3 Sesuai marginal: Lahan mempunyai faktor pembatas yang berat, dan faktor pembatas ini akan sangat berpengaruh terhadap produktivitasnya, memerlukan tambahan masukan yang lebih banyak daripada lahan yang tergolong S2. Untuk mengatasi faktor pembatas pada S3 memerlukan modal tinggi, sehingga perlu adanya bantuan atau campur tangan (intervensi) pemerintah atau pihak swasta.
4. Kelas N Lahan yang tidak sesuai karena mempunyai faktor pembatas yang sangat berat dan/atau sulit di atasi.

Terdapat berbagai macam pendekatan sistem evaluasi lahan yang digunakan misalnya sistem perkalian parameter, sistem penjumlahan parameter dan juga sistem pencocokan (matching) antara kualitas lahan dan karakteristik lahan dengan persyaratan tumbuh tanaman. Berikut merupakan contoh arahan penggunaan lahan untuk komoditas pertanian di Kabupaten Aceh Barat berdasarkan hasil penilaian beberapa parameter sifat tanah (Tabel 2.3).

Tabel 2.3: Arahan Penggunaan Lahan Untuk Komoditas Pertanian di Kabupaten Aceh Barat (Ritung et al. 2007)

Simbol	SPT	Faktor Pembatas	Rekomendasi Jenis Komoditas
A	2;3;4;5	Kesuburan tanah rendah, tanah berpasir lapisan bawah, air payau	Kelapa, kakao, kopi, semangka
B	9;10	Kesuburan tanah rendah, tanah berpasir lapisan bawah, air tawar	Kelapa, kakao, kopi, karet, sawit, durian, mangga, jeruk, duku, rambutan, semangka
C	18;19	Bahaya banjir/genangan dan kesuburan rendah, drainase sedang	Kelapa, kakao, kopi, mangga, jeruk, duku, durian, manggis, rambutan
D	13	Kesuburan tanah rendah dan tanah berpasir lapisan bawah	Kelapa, kakao, kopi, duku, mangga, manggis, rambutan, pisang, semangka, jagung, kc.tanah
E	7;14	Genangan, kesuburan tanah rendah, lapisan bawah berpasir	Karet, kelapa, sawit, (padi sawah)
F	27;28	Kesuburan tanah rendah dan lereng	Karet, sawit, kakao, cengkeh, pisang
G	15	Genangan dan kesuburan tanah rendah, gambut dangkal	Karet, sawit, kelapa, sawi, terong, kacang panjang, semangka
H	16;17	Genangan, kesuburan rendah dan gambut sedang-dalam	Karet, sawit, kelapa
I	21	Genangan dan kesuburan rendah, drainase agak terhambat	Karet, sawit, padi sawah
J	11,12,20, 23,25,26	Kesuburan tanah rendah	Padi sawah
K	22;24	Kesuburan tanah rendah, drainase terhambat	Padi sawah, (Karet, sawit)
L	6;8	Genangan, kesuburan rendah, lapisan bawah berpasir	Padi sawah/sawah tadah hujan
M	1	Pasir lepas, sebagian dari endapan Tsunami	Tidak sesuai

Arahan penggunaan lahan untuk komoditas pertanian disusun berdasarkan hasil dari serangkaian proses evaluasi lahan, dimulai dari penyusunan karakteristik lahan, penyusunan persyaratan tumbuh tanaman/penggunaan lahan, proses evaluasi kesesuaian lahan (Matching) dan terakhir adalah kesesuaian lahan terpilih/penentuan arahan penggunaan lahan untuk jenis tanaman tahunan.

Bab 3

Batas - batas Horison Tanah

Horison tanah merupakan lapisan tanah yang terbentuk oleh berbagai proses alam dengan berjalannya waktu secara terus menerus dapat mengalami perubahan. Proses alam disini dapat juga terjadi oleh kegiatan dari makhluk hidup terutama manusia yang banyak melakukan aktivitas pertaniannya sehingga dapat merubah horison tanah.

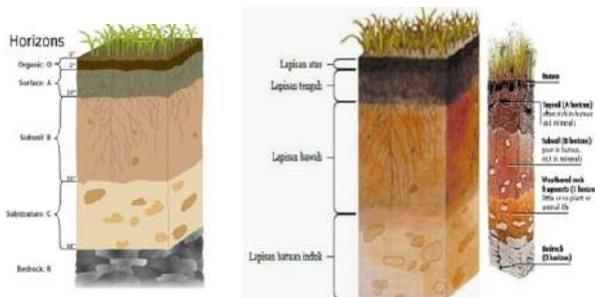
3.1 Pengertian Lapisan Tanah

Susunan tanah yang terjadi secara bertingkat ketika suatu tanah dipotong vertikal itu yang disebut lapisan tanah yang secara spesifik dapat dibedakan karakteristiknya baik kimiawi, geologi dan biologis.

Tahapan pembentukan sebuah tanah dapat terlihat melalui sisi vertikal dari tanah saat dipotong bahwa dalam setiap lapisan tanah itu terbentuk pada sebuah periode waktu, untuk lapisan tanah paling dalam yang banyak berupa batu yang keras menjadi awal sebelum tanah terbentuk dan semakin keatas adalah lapisan dengan proses-proses pembentukkan tanah lanjutan hingga lapisan paling atasmenjadi hasil akhir proses pembentukan tanah.

Pada umumnya jenis tanah memiliki tiga sampai empat lapisan yang berbeda-beda, yang bisa dikelompokan berdasarkan tekstur tanahnya, fisik tanah

maupun penampakan warna tanah. Melalui tekstur tanah bisa dilihat dari ukuran partikel tanah, komposisi liat, lempung atau berpasir, secara fisik dan warna dipengaruhi apakah mengandung kadar organik tinggi ataupun berbentuk endapan.



Gambar 3.1: Profil Tanah Menggambarkan Horizon Tanah ((Harris, 2021)

Lapisan tanah secara umum terbagi menjadi 4 tingkatan ; (Prof. Dr. Ir. Mochtar Lutfi Rayes, 2017)

1. Lapisan Tanah Atas

Merupakan sebuah lapisan yang berada pada kedalaman hingga 30 cm yang disebut sebagai Lapisan Top Soil. Lapisan ini banyak sekali mengandung bahan organik dan humus sehingga menjadi lapisan yang paling subur. Kemungkinan mikroorganisme yang hidup pada lapisan ini aktif mengadakan proses pelapukan atas bahan-bahan organik yang jatuh pada permukaan tanah. Lapisan ini biasanya sangat gembur dengan warna lebih gelap bila dibandingkan dengan lapisan di bawahnya. Kedalaman Top soil dari suatu jenis tanah sangat cocok untuk tumbuhan tanaman dengan akar pendek.

2. Lapisan Tanah Tengah

Pada lapisan setelah Top Soil sekitar 50 cm hingga 1 meter biasanya di sebut Sub Soil adalah lapisan yang terbentuk dari endapan campuran pelapukan dari lapisan atas yang terbawa air sehingga bersifat lebih padat atau lebih berliat. Berwarna lebih yang terang dibanding lapisan di atasnya

3. Lapisan Tanah Bawah

Berada lebih dalam terdapat batuan yang mulai melapuk tetapi kebanyakan batuan belum melapuk yang tercampur dengan tanah endapan dari lapisan di atasnya. Warnanya sama dengan warna batuan penyusunnya. Lapisan ini jarang dapat ditembus oleh akar tanaman ataupun akar pepohonan.

4. Lapisan Batuan Induk

Lapisan ini merupakan kumpulan batuan induk sehingga terjadi berbagai jenis tanah dari berbagai batuan induk yang berbeda. Lapisan ini berada pada lapisan yang paling dalam sulit dilalui oleh akar tanaman dan air, lapisan ini berwarna terang putih hingga warna kemerahan.

3.2 Horison Tanah

Adanya 4 lapisan tanah seperti yang telah bahas sebelumnya berdasarkan penampakan yang diambil secara umum, secara terperinci dapat dijelaskan bahwa setiap lapisan tanah tersebut masih terbagi lagi atas beberapa bagian yang disebut dengan horison tanah yang tersusun dalam kesatuan yang disebut dengan profil tanah. Setiap tanah dicirikan kembali oleh susunan horison yang berbeda beda, maka secara garis besar profil tanah biasanya terdiri dari beberapa horison yang mana bisa dibedakan berdasarkan sifat fisik, warna, kimiawi serta sifat morfologi lainnya.

Horison tanah yang telah melewati masa perkembangan lanjutan ini biasanya memiliki beberapa macam horison yang dikelompokkan kembali berdasarkan lapisan tanah untuk menghindari erosi tanah. Solum ini terbagi menjadi dua bagian terdiri dari lapisan atas dan juga lapisan bawah, di mana pada lapisan atas atau pun top soil ini memiliki dua horison, yaitu horison O dan juga horison A, lapisan tanah pada bagian bawah ini memiliki dua pula, yaitu horison E juga B. Tetapi pada profil tanah dengan susunan yang lengkap memiliki banyak sekali horison dengan sifat dan juga karakteristik yang unik. (Survey Staff, 1999)

3.2.1 Horison O

Horison ini terdapat pada bagian paling atas lapisan tanah, lapisan tanah ini mengandung bahan organik hasil dari pelapukan dan hanya mengandung humus. Horison ini biasa ditemukan pada hutan alami yang belum terganggu oleh manusia. Disebut horison organik karena merupakan tanah yang mengandung bahan organik yang lebih dari 20 persen dari keseluruhan penampang tanah.

Horison O ini dapat terbagi lagi akan menjadi dua yaitu horizon yaitu O1 yang terbentuk dari sisa tanaman yang masih terlihat, seperti guguran daun dan bunga ataupun ranting pohon sedangkan untuk horizon O2 berada di bawah O1 yang terbuat dari sisa bagian tanaman yang sudah tidak berbentuk lagi karena telah mengalami pelapukan lanjutan.

Lapisan tanah yang mengandung materi organik ini memiliki ketebalan hanya beberapa centimeter dari permukaan. Lapisan organik tersebut sangat kaya akan humus penyubur tanah

Horison O adalah lapisan tanah yang paling subur karena banyak mengandung humus. Humus terbentuk karena pelapukan bahan organik dari organisme yang sudah mati. Horison O juga sering dituliskan menyatu dengan horison A yang terletak di bawahnya.

3.2.2 Horison A

Horison A ini merupakan horison tanah mineral yang terbentuk di permukaan tanah. Untuk horison ini terjadi apabila terjadi kehilangan pada sebagian besar ataupun seluruh struktur batuan asli pada dalam tanah serta memperlihatkan sifat akumulasi bahan organik yang telah bercampur dengan mineral dengan sangat intensif.

Horison A ini terdiri atas berbagai topsoil, seperti materi organik dengan warna yang gelap bercampur dengan butiran mineral karena pengaruh dari aktivitas organisme. Partikelnya yang lebih halus akan mudah larut dan terbawa ke lapisan bawah. Horison A, merupakan zona eluviasi yang mengandung banyak mineral berwarna ke abu-abuan gelap pucat, karena pengaruh banyaknya mineral yang larut bersama air hujan.

3.2.3 Horison E

Lapisan ini berada di bawah permukaan tanah yang sudah tidak memiliki kandungan mineral yang cukup besar. Horison E ini kerap kali melekat pada jenis horison A dengan tujuan menggantikan lapisan tersebut. Untuk menjadi pembeda antara batas horison di bawahnya, yaitu dengan cirinya yang warna lebih terang daripada horison B.

Horison E ini adalah jalur rembesan air yang menembus sampai lapisan tanah terakhir. Horison ini bisa berada di bawah horizon O ataupun A. Apabila letaknya di bawah horizon A, warna tanahnya jadi lebih muda oleh karena kandungan bahan organiknya lebih sedikit.

3.2.4 Horison B

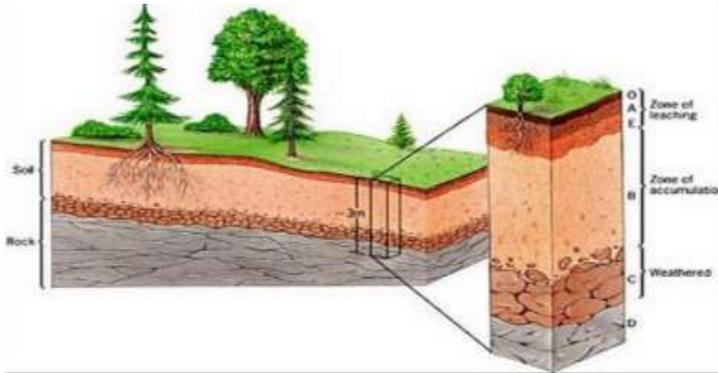
Proses pembentukan horison B ini berada di bawah horison A, E, O yang sudah mengalami perkembangan. Sebagian besar hingga dari seluruh struktur dari batuan asli dicirikan hilang pada horison ini. Kemudian akan terlihat satu atau lebih sifat tanah. Seperti jenis tanah alluvial dari silikat, humus, aluminium, senyawa besi, juga karbonat dalam bentuk gabungan maupun tunggal. Horison B, merupakan zona akumulasi yang memiliki sedikit humus. Warnanya coklat kuning atau coklat kemerahan.

3.2.5 Horison C

Horison C ini merupakan lapisan bahan induk tanah. Proses penciptaanya disebabkan oleh sedikit proses pedogenik dan tidak memiliki karakteristik seperti horison O, A, E, juga B. Letaknya berada pada lapisan tanah terbawah yang terdiri atas batuan dasar yang melapuk. Horison C, merupakan zona terjadinya pelapukan bahan induk tanah.

3.2.6 Horison D atau R

Horison D atau R ini memiliki lapisan batuan induk paling dasar yang tercipta dari batuan yang sangat padat. Pada area ini batu batumannya belum mengalami pelapukan. Batuan yang ada pada horison D maupun R ini terdiri atas batu pasir, basal, granit, batu gamping, dll. Horison D atau R, merupakan zona bahan induk tanah (padas asli).



Gambar 3.2: Horison Tanah Pada Pohon Dan Rerumputan (Nabil, 2013)

Pada Gambar 3.2 terlihat ketebalan masing masing horison mulai dari horison O, A dan E pada jenis vegetasi pepohonan atau hutan dengan vegetasi rerumputan.

3.3 Jenis-jenis Tanah pada Lapisan Tanah

Dalam lapisan tanah terdapat beberapa jenis – jenis tanah seperti:

1. Tanah Aluvial

Berupa tanah endapan yang terbentuk karena erosi tanah dari lumpur dan juga pasir halus. Oleh karena itu tanah ini banyak mengandung pasir serta liat tetapi tanah ini sedikit mengandung unsur hara. Banyak terdapat pada dataran rendah, lembah, muara sungai, atau ditepi aliran sungai yang besar.

Memiliki warna kelabu dengan teksturnya yang sedikit lepas dan mudah tererosi oleh karena tidak memiliki horizon penciri. Tingkat kesuburannya sedang hingga tinggi bergantung pada asal batuan induk dan keadaan iklim.

2. Tanah Andosol

Tanah Andosol berasal dari letusan gunung berapi merupakan tanah vulkanis dengan jenis tanah berwarna hitam. mempunyai distribusi klei tinggi, remah sampai gumpal, gembur dan warna homogen pada penampang tanah dalam dengan batas horison terselubung, kejenuhan basa < 50% (NH₄OAc) sekurang-kurangnya pada beberapa bagian dari horison B di dalam penampang 125 cm dari permukaan, tidak mempunyai horison penciri (kecuali jikatertimbun 50 cm atau lebih bahan baru) selain horison A umbrik, atau horison B kambik, tidak memperlihatkan gejala plintit di dalam penampang 125 cm dari permukaan, dan tidak mempunyai sifat vertik.

3. Tanah Entisol

Tanah entisol sejak proses tingkat awal di dalam perkembangannya adalah sebuah tanah yang dikatakan masih sangat muda. Tanah ini ditandai dari bahan mineral tanah yang belum membuat horizon pedogenik yang nyata.

Tanah ini berada pada bagian lapisan di daerah dari bahan induk pengendapan material baru, pada daerah-daerah tempat erosi atau pengendapan yang lebih cepat daripada perkembangan tanah. Seperti daerah lereng curam, dataran banjir. Tanah ini menunjukkan sedikit perkembangan struktur atau pun horison dan juga menyerupai material di dalam timbunan pasir yang segar.

4. Tanah Grumusol

Tanah ini merupakan panduan dari tanah yang terbentuk dari batuan induk kapur serta tuffa vulkanik yang secara umum memiliki sifat basa sehingga tidak ada aktivitas organik di dalamnya. Hal ini yang mengakibatkan tanah ini sangat miskin akan hara dan juga unsur organik lainnya. Sifat kapur itu sendiri adalah bisa menyerap seluruh unsur hara.

Tanah grumusol ini masih memiliki sifat dan juga karakteristik seperti batuan pada induknya. Pelapukan yang akan terjadi ini hanyalah mengubah fisik dan juga tekstur unsur seperti Ca dan Mg yang pada sebelumnya terikat dan juga secara rapat pada batuan induknya sehingga menjadi lebih longgar yang bisa

dipengaruhi oleh faktor – faktor dari luar seperti iklim, cuaca, air dan lainnya. Terkadang dalam tanah grumusol ini terjadi konkresi kapur dengan unsur kapur lunak serta berkembang menjadi lapisan tebal juga keras. (Fiantis et al., n.d.)

3.4 Empat Macam Proses Yang Terjadi Pada Pembentukan Lapisan Tanah

1. Additions

Terdapatnya material seperti daun-daun, debu yang ditiop angin atau adanya bahan kimia dari polusi udara yang ditambahkan masuk ke dalam tanah

2. Loses

Material hilang dari dalam tanah akibat terjadinya pencucian kelapisan tanah yang lebih dalam karena air hujan atau erosi pada permukaan tanah

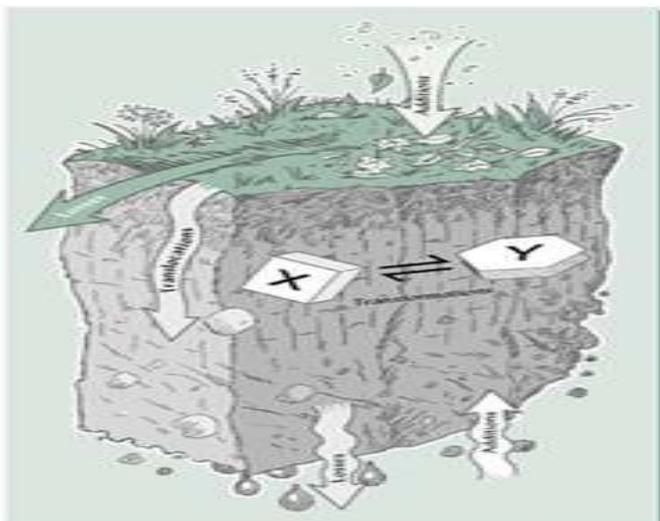
3. Translocation

Material tanah dapat berpindah dalam tanah. Hal ini dapat terjadi karena pencucian yang lebih dalam ke dalam tanah atau pergerakan ke atas oleh penguapan air

4. Transformation

Bahan dapat berubah di dalam tanah antara lain pelapukan bahan organik dan mineral menjadi partikel yang lebih kecil melalui proses kimia.

Ilustrasi dapat dilihat pada Gambar 3.3



Gambar 3.3: Proses Pembentukan Lapisan Tanah (Weil, 2016)

Pada Tabel 3.1 terlihat beberapa kelompok tanah yang terjadi akibat proses alam ataupun perbuatan manusia sehingga terjadi perkembangan beberapa jenis tanah

Tabel 3.1: Sepuluh (10) Set Referensi Kelompok Tanah

SET 1	Tanah Organik	HISTOSOLS
SET 2	Tanah Mineral yang terbentuk akibat perbuatan manusia (tidak terbatas pada daerah tertentu saja)	ANTHROSOLS
SET 3	Tanah Mineral yang terbentuk menurut bahan induk penyusunnya seperti: -Tanah berkembang dari bahan vulkanik -Tanah berkembang dari endapan dan pindahan pasir -Tanah berkembang dari kandungan liat yang mengembang	Andosols ARENOSOLS VERTISOLS
SET 4	Tanah Mineral yang pembentukannya dipengaruhi letak topografi	FLUVISOLS GLEYSOLS

	- Tanah dataran rendah (lahan basah) dengan topografi datar - Tanah dataran tinggi dengan topografi bergelombang	LEPTOSOLS REGOSOLS
SET 5	Tanah Mineral yang terbatas perkembangannya (tidak hanya pada satu wilayah)	CAMBISOLS
SET 6	Tanah Mineral terbentuk akibat pengaruh iklim di daerah tropis dan subtropis	PLINTHOSOLS FERRALSOLS NITISOLS ACRISOLS ALISOLS LIXISOLS
SET 7	Tanah Mineral terbentuk akibat pengaruh iklim di daerah arid dan semi arid	SOLOCHAKS SOLONETZ GYPSISOLS DURISOLS CALCISOLS
SET 8	Tanah yang terbentuk akibat iklim yang terdapat pada daerah padang rumput (steppa)	KASTANOZEMS CHERNOZEMS PHAEZEMS
SET 9	Tanah yang terbentuk akibat iklim yang daerah temperate basah	PODZOLS PLANOSOLS ALBELUVISOLS LUVISOLS UMBRISOLS
SET 10	Tanah Mineral yang terbentuk karena kondisi daerah dengan lapisan es	CRYOSOLS

3.5 Aktivitas dan Tegakan di Permukaan Tanah Mempengaruhi Batas Lapisan Tanah

Vegetasi dan aktivitas makhluk hidup yang ada di atas permukaan tanah akan mempengaruhi perubahan batas lapisan tanah terutama lapisan top soil tanah. W Tolaka dkk (2013) dalam penelitiannya membandingkan bahan organik pada hutan primer dengan lahan agroforestry dan kebun kakao diperoleh bahan organik 7,09 % pada hutan primer 5,86 % pada kebun kakao dan 4,12 % pada lahan agroforestry. Keberadaan bahan organik ini akan mempengaruhi batas lapisan atas tanah di mana akan semakin tebalnya lapisan atas dengan keberadaan bahan organik tersebut.

Vegetasi rumput dan tumbuhan berumur genjah daur hidupnya lebih singkat dibandingkan tumbuhan hutan yang berumur panjang hingga tahunan sehingga aktivitas pada lapisan atas tanah lebih dinamis. Pertumbuhan tanaman menghasilkan akumulasi sisa - sisa organik sehingga lapisan atas tanah berupa humus hasil perombakan bahan organik lebih tebal pada tanah-tanah yang ditumbuhi tumbuhan rumput dan sejenisnya.

Demikian juga perlakuan pengelolaan tanah dan jenis pertanaman pada suatu areal akan mempengaruhi batasan antara lapisan atas hingga bawah tanah. Pengolahan tanah dengan alat olah dan kedalaman olah akan mempengaruhi dan dapat mengubah batas lapisan tanah atau dapat mengubah tebal lapisan terutama lapisan tanah sejauh dalam olahan pada tanah tersebut. Disamping itu pengelolaan tanah berupa kegiatan petani dalam pemupukan organik juga akan mempercepat perubahan lapisan atas tanah.(WilmanTolaka et al., 2013)

Bab 4

Warna Tanah

4.1 Pendahuluan

Tanah merupakan faktor penting bagi potensi lahan, produktivitas, dan hasil panen. Mengidentifikasi tanah dengan benar merupakan informasi penting untuk pengambilan keputusan bagi petani, pengelola sumber daya alam, perencanaan lahan, dan pengelola lahan lainnya. Warna merupakan satu dari sifat tanah yang mudah diamati. Warna tanah dapat menjadi alat yang berguna untuk mengidentifikasi tanah dengan benar dan dapat menjadi indikator penting kesehatan tanah. Warna tanah berkaitan dengan komposisi mineral, kesuburan tanah, bahan organik tanah, drainase dan radiasi sinar matahari.

Kemunculan suatu tanah merupakan hasil interaksi berbagai unsur penyusunnya dengan cahaya yang datang. Warna dan berbagai atribut kenampakan tanah lainnya sangat sensitif terhadap sifat, proporsi, ukuran partikel dan morfologi, serta asosiasi spasial komponen mineral dan organiknya. Faktanya, warna telah digunakan selama lebih dari 75 tahun untuk memperoleh informasi tentang sifat-sifat tanah dengan tujuan untuk mengkarakterisasi dan membedakan jenis tanah (Torrent dan Vidal, 1993). Dalam konteks ilmu tanah, warna merupakan salah satu karakteristik intrinsik yang paling banyak diamati. Evaluasi warna dianggap mendasar dalam deskripsi morfologi tanah dan sebagai indikator utama kandungan kimianya, komponen fisik, dan mineralogi (Stiglitz et al., 2020).

Salah satu sifat yang paling umum digunakan oleh ilmuwan tanah untuk mendeskripsikan dan mengklasifikasikan horizon tanah adalah warna. Warna adalah sifat fisik tanah yang memungkinkan kita mengetahui beberapa karakteristik terpentingnya, seperti komposisi mineral, umur dan proses tanah (perubahan kimia, akumulasi karbonat, dan keberadaan bahan organik yang dilembabkan). Kehadiran air dalam profil tanah dalam jangka waktu yang lama juga memengaruhi warna tanah akibat perubahan laju oksidasi. Demikian pula, bersama dengan sifat fisik lainnya, warna membantu kita membedakan horizon dengan profil yang sama atau profil tanah yang berbeda.

Warna merupakan sifat pasif tanah, yaitu merupakan konsekuensi dari proses pembentukan tanah dan bukan merupakan faktor yang memengaruhi perilaku tanah. Meskipun demikian, beberapa kesimpulan dapat diambil dari pengamatan warna tanah. Kesimpulan ini mungkin penting dalam penggunaan dan pengelolaan tanah (Gupta et al., 2008).

Warna tanah dapat menyimpulkan proses pedogenik di dalam tanah. Zat pewarna utama dalam tanah adalah bahan organik, besi, dan, pada tingkat lebih rendah, senyawa mangan dan belerang. Bahan-bahan tersebut menutupi warna alami butiran mineral (sebagian besar berwarna abu-abu). Jika suatu horizon tanah mempunyai lebih dari satu warna, maka warna dominan berdasarkan volume dianggap sebagai warna matriks (Owen dan Libohova, 2022).

4.2 Faktor-faktor yang Memengaruhi Warna Tanah

Warna tanah dapat membantu kita memperkirakan kandungan mineral, komposisi kimia, sifat fisik, dan hal-hal penting lainnya karakteristik tanah. Kesan pertama yang didapatkan saat melihat tanah kosong adalah warnanya. Warna dapat menjadi indikator berguna dari beberapa hal umum sifat-sifat tanah, serta beberapa proses kimianya yang terjadi di bawah permukaan.

Berbagai faktor yang memengaruhi warna tanah sebagai berikut:

1. Komposisi Bahan Induk Tanah

Tanah yang mengandung senyawa besi dalam jumlah lebih tinggi umumnya memberikan warna semburat merah, coklat dan kuning.

Warna merah pada tanah disebabkan oleh oksida besi yang tidak terhidrasi. Hal ini menunjukkan bahwa tanah tersebut sudah tua dan lebih lapuk.

Warna kuning pada tanah disebabkan oleh oksida besi (limonit) dan kondisi yang lebih lembab. Karena adanya sejumlah besar silika dan kapur atau keduanya di dalam tanah, warna tanah tampak seperti putih atau berwarna terang.

Pada tanah berwarna hitam, warna hitam disebabkan oleh magnetit titaniferous. Tanah seperti itu mungkin memiliki lebih sedikit bahan organik namun warnanya tetap hitam. Dengan demikian bahan induk mempunyai pengaruh langsung terhadap warna tanah yang terbentuk darinya.

2. Kelembaban tanah

Tanah yang memiliki drainase baik akan memiliki warna yang normal dibandingkan dengan tanah yang memiliki drainase buruk. Tanah yang memiliki drainase buruk akan menunjukkan tanda-tanda mulai memutih karena kondisi anaerobik atau berkurangnya.

Jika tanah tergenang air dalam jangka waktu yang lama, kondisi penurunan permanen akan terjadi. Adanya senyawa besi akibat kondisi reduksi pada tanah yang tergenang air memberikan warna kebiruan dan kehijauan.

Pada musim hujan akibat hujan lebat terjadi reduksi tanah dan pada musim kemarau juga terjadi oksidasi tanah. Karena oksidasi dan reduksi bergantian ini (karena pembasahan dan pengeringan bergantian), beberapa bercak berwarna terbentuk. Bercak ini dikenal sebagai bintik-bintik. Warna belang-belang ini disebabkan oleh produk sisa proses ini terutama senyawa besi dan mangan.

3. Bahan organik

Tanah yang mengandung bahan organik dalam jumlah tinggi menunjukkan variasi warna dari hitam hingga coklat tua. Di tanah hutan dan padang rumput, lebih banyak bahan organik ditambahkan ke tanah setiap tahunnya. Hal ini membuat warna tanah menjadi lebih gelap. Di daerah panas dan kering, bahan organik mudah terurai dan

hilang. Oleh karena itu, warna tanah ini lebih terang. Oleh karena itu, bahan organik merupakan unsur penting pemberi warna di dalam tanah.

4. Kondisi Reduksi Oksidasi

Jika tanah tergenang air dalam jangka waktu yang lama, kondisi penurunan permanen akan terjadi. Adanya senyawa besi akibat kondisi reduksi pada tanah yang tergenang air memberikan warna kebiruan dan kehijauan.

Dua 'aturan praktis' adalah semakin gelap warna tanah, semakin banyak bahan organik yang dikandungnya, dan tanah kering yang membuat tangan kita 'kotor dan berdebu' memiliki kandungan bahan organik yang tinggi

Di dalam tanah, terdapat dua bahan yang sangat memengaruhi warna tanah yaitu bahan organik (humus) dan komponen besi. Kedua bahan ini mampu menyelimuti partikel mineral tanah sehingga menghilangkan warna aslinya. Warna mineral tanah biasanya putih atau agak kelabu, sekalipun beberapa mineral memiliki warna lain misalnya hitam, merah, dan sebagainya.

Jika suatu tanah mempunyai permukaan air yang tinggi atau air mengendap di atas lapisan kedap air dalam tanah, maka jumlah oksigen dalam tanah berkurang. Ketika ini terjadi, bakteri yang membutuhkan oksigen (bakteri aerob) menjadi tidak aktif dan bakteri yang tidak membutuhkan oksigen (bakteri anaerob) berkembang. Beberapa bakteri anaerob mengubah besi besi (Fe^{3+}), yang berwarna merah, menjadi besi besi (Fe^{2+}), yang tidak berwarna. Besi tidak berwarna larut dalam air dan kembali ke tanah. Bakteri anaerob lainnya mengubah mangan Mn^{4+} menjadi mangan Mn^{2+} yang tidak berwarna dan larut dalam air. Hilangnya pigmen menyebabkan material tanah berwarna abu-abu. Jika air bertahan dalam jangka waktu lama, seluruh zona berubah menjadi abu-abu.

Tanah mempunyai berbagai macam warna, yang paling umum adalah warna hitam, Coklat, merah, abu-abu, dan putih (Gambar 4.1). Warna tanah juga dapat menjadi indikator tingkat kesuburan tanah. Urutan warna tanah dari yang paling subur ke yang paling tidak subur adalah: hitam, coklat, coklat seperti karat, merah, abu – abu, kuning dan putih.

Adapun penjelasan untuk masing-masing warna tanah sebagai berikut:

1. Tanah berwarna hitam
Tanah-tanah ini sering dikaitkan dengan tingkat bahan organik yang tinggi. Beberapa mineral lempung juga dapat memberikan warna gelap.
2. Tanah Berwarna Putih
Beberapa tanah berwarna putih karena dipengaruhi oleh kalsium karbonat, magnesium karbonat, gipsum, atau garam lain yang lebih larut. Biasanya lapisan berwarna putih dari pigmen mana yang dihilangkan terjadi di antara organik materi dan permukaan tanah. Lapisan ini sebagian besar terdiri dari kuarsa.
3. Tanah Berwarna Coklat
Beberapa tanah berwarna coklat karena tanaman membusuk bahan. Warna yang lebih gelap sering kali menunjukkan tingkat yang lebih tinggi bahan organik yang membusuk yang disebut humus. Tanah mengandung organisme hidup dan bahan organik mati, yang terurai menjadi humus hitam. Di tanah padang rumput (padang rumput), warna gelap meresap melalui lapisan permukaan, membawa nutrisi dan kesuburan tinggi ke lapisan yang lebih dalam. Jauh di dalam tanah, bahan organik melapisi partikel tanah, menjadikannya lebih gelap di bagian luar daripada di dalam. Pewarnaan yang disebabkan oleh humus berkurang seiring dengan kedalaman, dan pewarnaan yang disebabkan oleh besi meningkat.
4. Tanah Berwarna Kuning atau Merah
Tanah berwarna kuning atau merah menunjukkan adanya oksida besi. Warna merah mungkin terutama disebabkan oleh lapisan tipis oksida besi pada partikel tanah yang terdiri atas oksida besi hematit atau oksida besi hidrous yang berwarna merah. Adapun tanah yang banyak mengandung oksida besi bentuk hidrat (limonit) warnanya terlihat lebih kuning.
5. Tanah Berwarna Abu-abu
Tanah berwarna abu-abu biasanya menunjukkan drainase yang jelek. Besi dan senyawa mangan berada dalam bentuk tereduksi karena

kekurangan udara. Tanah-tanah ini sering disebut sebagai tanah yang memutih atau ‘tercuci’. Partikel besi dan mangan telah tercuci disebabkan oleh curah hujan yang tinggi atau drainase vertikal dan lateral.



Gambar 4.1: Jenis Warna Tanah (ACIAR, 2013).

4.3 Manfaat Mengetahui Warna Tanah

Warna tanah secara langsung dapat dipakai untuk:

1. Menaksir tingkat pelapukan, atau proses pembentukan tanah, biasanya makin merah warnanya, maka tingkat pelapukan tanah semakin lanjut.
2. Menilai kandungan bahan organik tanah, semakin gelap warnanya biasanya semakin tinggi kandungannya.
3. Menilai keadaan pembuangan air berlebihan atau drainase, warna merah atau kuning coklat menunjukkan drainase baik, sedangkan warna kelabu kebiruan dan berbercak-bercak (mottling) menunjukkan jelek drainasenya.
4. Melihat adanya horizon pencucian (eluviasi) dan horizon pengendapan (illuviasi) dalam suatu profil tanah, warna putih atau pucat menunjukkan horizon yang tercuci sedangkan warna merah gelap memadat menunjukkan horizon pengendapan (akumulasi) bahan-bahan dari horizon di atasnya.

5. Menaksir banyaknya kandungan mineral, warna pucat atau kekuning-kuningan biasanya banyak atau berasal dari mineral kwarsa (SiO_2), sedangkan warna merah banyak atau berasal dari mineral mengandung besi.
6. Sebagai salah satu parameter untuk mengklasifikasikan tanah. Hasil klasifikasi tanah selanjutnya digunakan sebagai dasar penilaian kesesuaian lahan berbagai tanaman pertanian maupun tanaman kehutanan.

4.4 Menentukan Warna Tanah dengan Metode Munsell

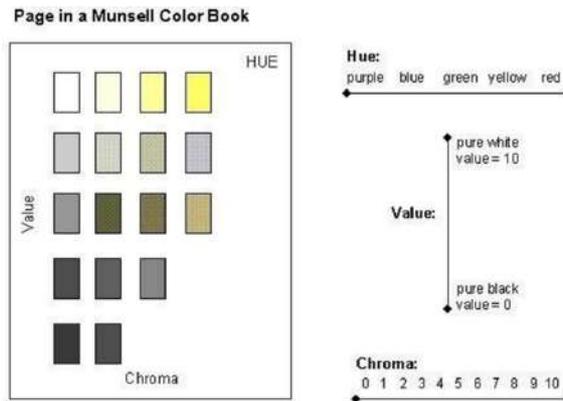
Permintaan akan metode standar untuk mendeskripsikan warna tanah dipenuhi dengan penerapan notasi Munsell oleh Program Survei Tanah Amerika Serikat pada tahun 1949, dan sekitar 10 tahun kemudian digunakan oleh International Society of Soil Science. Sejak itu, Bagan Warna Tanah Munsell/Munsell Color telah digunakan secara sistematis oleh para pedolog. Bagan mengatur warna berdasarkan corak, nilai, dan kroma. Kombinasi ketiga variabel ini digunakan untuk semua warna (Munsell Colors, 1994).

Sistem Notasi Warna Munsell adalah sistem urutan warna yang ditemukan oleh seorang seniman Albert H. Munsell pada tahun 1905, sebelum berkembangnya ilmu kuantitatif untuk mengukur warna. Sistem ini menentukan sejumlah warna 'standar' yang terbatas, dalam ruang warna 'silinder'. Tiga atribut, Hue (H), Value (V) dan Chroma (C) menggambarkan kemiripan warna dominan (merah, kuning, biru) atau kombinasi keduanya, intensitas warna (ringan atau Kromatisitas) dan kemurnian relatif dari panjang gelombang dominan atau perbedaan persepsi dari netral abu-abu (saturasi) masing-masing (Warr, 2015).

Penjelasan untuk masing-masing variabel pengukuran warna tanah sebagai berikut:

1. Hue: menunjukkan panjang gelombang cahaya dominan yang dipantulkan oleh benda. Hue ini ditentukan oleh campuran lima

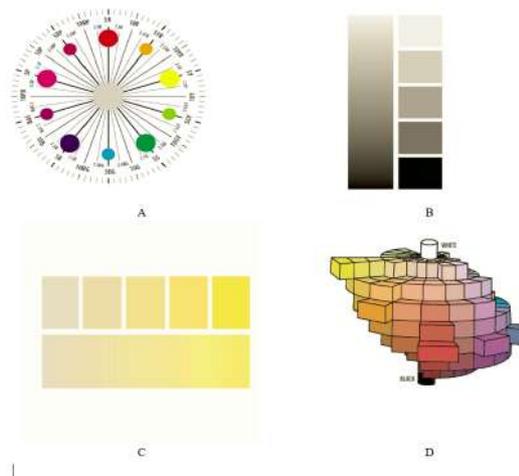
- warna utama yaitu biru, hijau, kuning, merah, dan ungu. Nilai Hue berkisar antara 0 hingga 10.
2. Value: merupakan ukuran terang atau gelapnya warna tanah yang bersangkutan. Pada dasarnya warna tanah merupakan hasil pencampuran antara warna hitam dan putih yang menghasilkan warna kelabu. Jumlah warna putih yang diperlukan untuk memberikan warna tanah merupakan value tanah yang bersangkutan. Value ini berkisar antara 0 hingga 10. Nilai 0 menunjukkan warna hitam, dan 10 menunjukkan warna putih.
 3. Chroma: Chroma adalah tingkat kemurnian warna tanah (Hue). Warna yang murni, yang hanya memiliki satu panjang gelombang cahaya, akan memiliki nilai chroma 20. Namun, warna tanah yang terdapat di alam biasanya merupakan campuran antara hue murni dengan warna kelabu netral. Warna kelabu memiliki nilai chroma nol atau disimbolkan dengan N atau netral sebab tidak memiliki hue. Lembar Buku Warna Tanah (Munsell Soil Color Chart) disajikan pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2: Lembar Buku Warna Tanah (Munsell Soil Color Chart)
Sumber: spada UNS.ac.id (2020)

Dalam bagan warna tanah Munsell, Hue mengambil delapan nilai kategorikal: merah (10R), merah-kuning (2.5YR, 5YR, 7.5YR, 10YR), kuning (2.5Y, 5Y). Untuk visualisasi tujuannya disusun dalam bentuk lingkaran atau silinder

(Gambar 4.3A-D) mengikuti tatanan alami Hue. Hitam, putih, dan abu-abu menengah tidak memiliki Hue, bersifat akromatik ($R=G=B$), dan dengan kode terpisah. Nilai atribut Munsell (V) nilainya bervariasi antara 0 dan 28 (hanya 0-10 yang digunakan dalam bagan tanah). Nilai mewakili perubahan dari hitam menjadi putih (Gambar 4.3B) dan variasinya dapat terjadi divisualisasikan sebagai pergeseran sepanjang sumbu vertikal silinder Munsell. Kroma bervariasi antara 0 dan 10. Perubahan pada Chroma dapat dianggap sebagai akibat dari penambahan atau pengurangan warna abu-abu netral (Gambar 4.3C), dan variasi yang diwakili secara visual sebagai perubahan jarak dari sumbu tengah silinder (Gambar 4.3D).

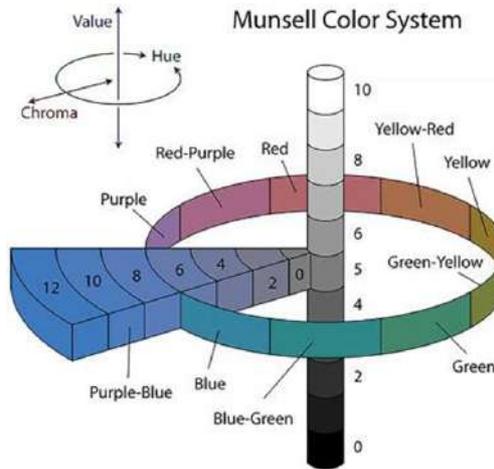


Gambar 4.3: A) Munsell Hue, (B) Nilai Munsell, (C) Munsell Chroma (roda warna) dan (D) sistem warna Munsell yang lengkap, menunjukkan ketidakseragaman sumbu Chroma. Sumber: Warr (2015).

Hubungan antara Hue dan Chroma bersifat non-linier. Divisi dari rona silinder dirancang untuk mengatur warna menurut interval yang sama persepsi visual. Namun, silinder yang dibayangkan Munsell sebenarnya tidak seragam padat (Gambar 4.3D). Merah, biru, dan ungu memiliki warna yang lebih kuat dibandingkan kuning dan hijau, dan karena itu mencapai saturasi pada Nilai tingkat menengah, sedangkan kuning dan hijau mencapai saturasi pada nilai yang lebih tinggi.

Warnanya menjadi lebih terang secara berturut-turut dari bawah ke atas seiring dengan meningkatnya nilainya. Kromanya meningkat di sebelah kanan dan

menjadi lebih abu-abu di sebelah kiri. Nilai dan kroma setiap warna ditampilkan di bawah chip warna. Sebagaimana disusun dalam bagan, warna-warna membentuk tiga skala: (1) radial, atau dari satu kartu ke kartu berikutnya, dalam rona; (2) nilainya vertikal; dan (3) horizontal dalam kroma (Gambar. 4.4).



Gambar 4.4: Diagram yang menunjukkan hubungan antara Hue, Value dan Chroma

4.5 Menafsirkan Warna Tanah

Warna dapat digunakan sebagai petunjuk kandungan mineral suatu tanah. Mineral besi sejauh ini menyediakan pigmen yang paling banyak dan paling beragam di bumi dan tanah (Tabel 4.1).

Tabel 4.1: Sifat Mineral

Mineral	Rumus Kimia	Ukuran	Munsell	Warna
Goethite	FeOOH	(1-2 μm)	10YR 8/6	Yellow
Goethite	FeOOH	(~0.2 μm)	7.5YR 5/6	Strong brown
Hematite	Fe ₂ O ₃	(~0.4 μm)	5R 3/6	Red
Hematite	Fe ₂ O ₃	(~0.1 μm)	10R 4/8	Red

		(μm)		
Lepidocrocite	FeOOH	(~0.5 μm)	5YR 6/8	Reddish-yellow
Lepidocrocite	FeOOH	(~0.1 μm)	2.5YR 4/6	Red
Ferrihydrite	Fe (OH) ₃		2.5YR 3/6	Dark red
Glauconite	K(Si,Al _x)(Al,Fe,Mg)O ₂ (OH) ₂		5Y 5/1	Dark gray
Iron sulfide	FeS		10YR 2/1	Black
Pyrite	FeS ₂		10YR 2/1	Black (metallic)
Jarosite	K Fe ₃ (OH) ₆ (SO ₄) ₂		5Y 6/4	Pale yellow
Todorokite	MnO ₂		10YR 2/1	Black
Humus			10YR 2/1	Black
Calcite			10YR 8/2	White
Dolomite			10YR 8/2	White
Gypsum			10YR 8/3	Very pale brown
Quartz			10YR 6/1	Light gray

Sumber: USDA (2022)

Menurut USDA (2022), bahwa kristal goethite yang relatif besar memberikan pigmen kuning pada tanah aerobik. Kristal goethite yang lebih kecil menghasilkan corak coklat. Kristal Hematit menambahkan warna merah yang kaya. Kristal hematit yang besar memberikan warna merah keunguan pada sedimen geologi yang dalam suatu tanah, mungkin diwarisi dari bahan induk geologi. Secara umum, warna tanah goethite lebih sering muncul di daerah beriklim sedang, dan warna hematit lebih banyak muncul di gurun panas dan iklim tropis.

Warna – atau kurangnya warna – juga dapat memberi tahu sesuatu tentang lingkungan. Lingkungan anaerobik terjadi ketika tanah memiliki muka air tanah yang tinggi atau air mengendap di atas lapisan kedap air. Pada banyak tanah, permukaan air naik pada musim hujan. Ketika genangan air menutupi tanah, oksigen di dalam air digunakan dengan cepat, dan kemudian bakteri aerob menjadi tidak aktif.

Bakteri anaerob menggunakan Fe³⁺ pada mineral goetit dan hematit sebagai akseptor elektron dalam metabolismenya. Dalam prosesnya, besi direduksi menjadi Fe²⁺ yang tidak berwarna dan larut dalam air, yang kemudian

dikembalikan ke dalam tanah. Bakteri anaerob lainnya menggunakan Mn^{4+} sebagai akseptor elektron, yang direduksi menjadi Mn^{2+} yang tidak berwarna dan larut. Hilangnya pigmen meninggalkan warna abu-abu dari mineral yang mendasarinya. Jika air tetap tinggi dalam jangka waktu lama, seluruh zona berubah menjadi abu-abu.

Ketika permukaan air menurun di musim kemarau, oksigen masuk kembali. Besi terlarut teroksidasi menjadi bintik-bintik lepidocrocite berwarna oranye yang khas (formula yang sama dengan mineral goethite tetapi struktur kristalnya berbeda) pada retakan di tanah. Jika tanah diaerasi dengan cepat, bintik-bintik merah cerah dari ferihidrit akan terbentuk di pori-pori dan retakan. Biasanya ferihidrit tidak stabil dan seiring waktu berubah menjadi lepidocrocite.

Di sepanjang pantai, air pasang menjenuhkan tanah dua kali sehari, membawa anion sulfat yang dapat larut. Bakteri anaerob menggunakan sulfat sebagai akseptor elektron dan melepaskan sulfida (S^{2-}) yang bergabung dengan besi besi untuk mengendapkan besi sulfida hitam. Sedikit asam klorida (HCl) yang diteteskan pada pigmen hitam ini dengan cepat menghasilkan bau gas hidrogen sulfida (H_2S) seperti telur busuk. Tanah yang mengeluarkan gas H_2S disebut tanah sulfida. Seiring berjalannya waktu, besi sulfida berubah menjadi pirit (FeS_2) dan menghasilkan warna metalik kebiruan. Jika tanah sulfida dikeringkan dan diangin-anginkan, tanah tersebut dengan cepat menjadi sangat asam (pH 2,5 hingga 3,5), dan pigmen bentuk jarosit berwarna kuning pucat yang khas. Ini tandanya tanah sulfat masam cukup korosif dan hanya sedikit tanaman yang tumbuh.

Pasir hijau galukonitik terbentuk di perairan laut dangkal dekat pantai yang menjadi bagian dari tanah yang terbentuk setelah permukaan laut surut. Warna putih dari kalsit, dolomit, dan gipsum yang tidak dilapisi biasa terjadi pada bahan geologi dan tanah di iklim kering. Sedikit karbonat larut dalam air, bergerak ke bawah, dan mengendap dalam benda putih lunak atau bintil keras. Ia juga terakumulasi di pori-pori akar dalam bentuk pola dendritik (cabang pohon) berenda.

4.6 Mengidentifikasi Warna Tanah dengan Smart Phone

Penentuan warna tanah lazim dilakukan melalui persepsi visual standar. Dalam metode ini, ahli pedologi berpengalaman menentukan warna tanah berdasarkan kecocokan terdekat dengan salah satu warna standar yang terkandung dalam bagan warna Munsell (Simon et al., 2020). Evaluasi warna dalam deskripsi rutin sebaiknya dilakukan di tempat yang lembab dalam kondisi kering. Penentuan warna tanah pada kondisi yang lembab dan kering berguna untuk tujuan klasifikasi, karena beberapa sistem, seperti basis referensi Dunia untuk sumber daya tanah (FAO, 2014), memerlukan informasi ini untuk mengidentifikasi beberapa horizon tanah.

Penentuan warna tanah melalui standar persepsi visual, meskipun digunakan secara luas, dianggap murni komparatif, dan oleh karena itu hasilnya bervariasi karena kemampuan teknis dan faktor psikofisik penilai. Faktor-faktor seperti kondisi pencahayaan dan waktu penggunaan grafik berkontribusi mengurangi kualitas persepsi visual warna (Stiglitz et al., 2016). Karena kekhasan ini, evaluasi visual warna oleh para pedolog dianggap subjektif dan tunduk pada tingkat ketidakpastian yang tinggi (Marqués-Mateu et al., 2018).

Selain itu dalam penggunaannya, buku Munsell Soil Color Chart (MSCC) (Gambar 4.5) perlu dibawa ke lapangan untuk dijadikan pedoman dalam mencocokkan warna tanah sehingga membuat buku MSCC tersebut cepat rusak, sementara harganya sangat mahal (Priandana et al., 2014).

Termotivasi untuk menemukan cara untuk mengatasi masalah ini, banyak ilmuwan tanah telah menggunakan metode alternatif analisis warna. Pada saat ini ada beberapa penelitian telah berfokus pada kemungkinan menggunakan kamera ponsel pintar yang terkait dengan aplikasi untuk mendapatkan warna tanah untuk mengurangi kesalahan yang timbul dari subjektivitas pengamat dan memfasilitasi evaluasi yang dilakukan lebih teliti (Han et al., 2016). Dalam metode ini, instrumen seperti kolorimeter, spektroradiometer, dan kamera fotografi digunakan untuk menentukan warna sampel tanah dengan mengukur reflektansi spektral dalam kisaran spektrum elektromagnetik (Fan et al, 2017).



Gambar 4.5: Pengamatan Warna Tanah Menggunakan Buku Munsell Soil Color Chart di Lapangan Sumber: Dokumentasi pribadi penulis (2022)

Diantara kelebihan menggunakan aplikasi smartphone untuk menilai warna tanah, antara lain kecepatan, keandalan, dan biaya pengoperasiannya yang rendah (Gambar 4.6). Selain itu, aplikasi ini memungkinkan banyak pengguna untuk mengumpulkan dan menyimpan informasi warna tanah dengan cepat dan aman. (Stiglitz et al, 2017). Adapun keterbatasannya, kamera digital tidak mampu memenuhi kemampuan mata manusia dalam mengidentifikasi parameter seperti bidang visual dan resolusi spasial (Skorka dan Dileepan, 2011).



Gambar 4.6.: Pengamatan Warna Tanah Dengan Smartphone (LandPKS, 2022).

Aplikasi yang digunakan pada smartphone untuk memperoleh informasi warna adalah Soil Analysis Pro (Broken Oak Studios, 2017), perangkat lunak gratis yang terdiri dari komponen fungsi: akuisisi gambar, pemrosesan gambar, dan analisis warna. Dengan mengklik “Ambil foto baru”, smartphone secara otomatis memasuki pengambilan gambar kemudian melakukan pemrosesan dan menghasilkan hasil analisis warna. Aplikasinya adalah dikonfigurasi untuk menampilkan dua warna dominan, dengan rona diwakili oleh warna dengan persentase kemunculan tertinggi. Untuk Hue dan Chroma, jika kedua warna berbeda, representasi dibuat menggunakan mean aritmatika.

Setiap komponen warna (Hue, Value dan Chroma) dievaluasi secara individual membuat analisis statistik layak dan untuk memungkinkan perhitungan perjanjian antara pedolog dan aplikasi. Di dalam setiap horizon, persentase kesepakatan antara masing-masing pedolog dan kamera smartphone mengenai Hue, Value dan Chroma diperoleh dengan mempertimbangkan persamaan berikut:

$$\text{Kesepakatan (\%)} = n - d/d$$

di mana n adalah banyaknya pasangan data setiap komponen warna (Hue, Value dan Chroma) diperoleh oleh ahli pedologi dan aplikasi ponsel pintar; dan d adalah jumlah pasangan perselisihan antara pedolog dan aplikasi smartphone

Raulino et al, (2021) melakukan penelitian untuk mengetahui perbandingan penentuan warna dari sepuluh horizon tanah yang dilakukan oleh tiga orang ahli pedologi dan menggunakan smartphone yang dilakukan dalam satu hari, dalam kondisi pencahayaan yang sama. Di mana ketiga ahli pedologi mendeskripsikan warnanya komponen (rona, nilai, dan kroma) dari masing-masing agregat (kondisi tanah kering dan lembab) menggunakan bagan warna tanah Munsell. Kemudian untuk perbandingan, masing-masing dari sepuluh kelompok unsur kehidupan, dari masing-masing horizon, difoto (urutan tanah kering dan lembab) menggunakan kamera smartphone. Jarak dari kamera ke agregat adalah 25 ± 5 cm. Setiap agregat ditempatkan pada selembar kertas putih untuk latar belakangnya. Aplikasi yang digunakan adalah Soil Analysis Pro. Persentase kesepakatan antar pedolog dan penerapan diperoleh mengenai Hue, Value dan Chroma. Hasil penelitian diperoleh bahwa kesamaan penilaian warna horizon tanah antara pedolog dan aplikasi smartphone untuk Hue dan Chroma sedang dan untuk Value nilainya rendah. Untuk kondisi tanah kering, terdapat kesamaan penilaian yang tinggi antara pedolog dan aplikasi

smartphone, khususnya dalam persepsi dari Hue dan Chroma. Dengan demikian, aplikasi smartphone mempunyai potensi untuk itu digunakan dalam deskripsi rutin warna tanah.

Bab 5

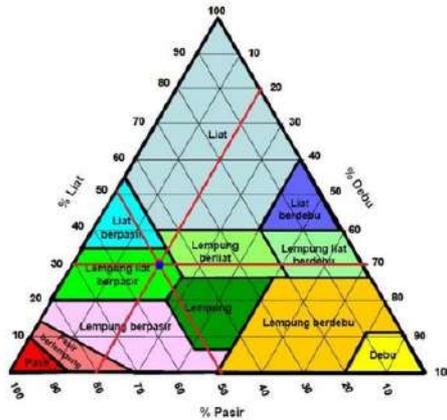
Tekstur dan Struktur Tanah

Komposisi fisik dan susunan partikel tanah adalah konsep pokok dari tekstur tanah dan struktur tanah. Keduanya menggambarkan aspek komposisi tanah yang mewakili definisi dasar fisik tanah. Tekstur tanah dan struktur tanah merupakan sifat unik tanah yang akan mempunyai pengaruh besar terhadap perilaku tanah, seperti kapasitas menahan air, retensi dan suplai unsur hara, drainase, dan pencucian unsur hara.

5.1 Tekstur Tanah

Tekstur tanah mengindikasikan kandungan relatif dari partikel-partikel tanah dalam berbagai ukuran, seperti misalnya pasir, debu dan liat di dalam tanah. Atau dengan kata lain, tekstur tanah adalah proporsi relatif pasir, debu, dan liat dalam tanah. Menurut Hanafiah (2004) tekstur tanah menunjukkan komposisi partikel penyusun tanah yang dinyatakan dalam perbandingan proporsi (persentase) relative antara fraksi pasir (sand) ukuran diameter 2,00 – 0,20 mm atau 2000 – 200 μm ; fraksi debu (silt) ukuran diameter 0,20 – 0,002 mm atau 200 – 2 μm ; dan liat (clay) ukuran diameter < 2 μm . Partikel di atas ukuran 2 mm, seperti misalnya kerikil dan bebatuan kecil tidak tergolong sebagai fraksi tanah, tetapi tetap harus diperhitungkan dalam evaluasi tekstur tanah. Pengelompokan partikel-partikel tanah berdasarkan proporsi relatif ini

dinamakan kelas tekstur tanah. Untuk menentukan kelas tekstur tanah ini digunakan segitiga tekstur.



Gambar 5.1: Segitiga Tekstur Tanah

Hilel (2004) menyatakan bahwa istilah tekstur tanah mengacu pada kisaran ukuran partikel dalam tanah, yaitu apakah tanah tertentu mengandung ukuran partikel yang luas atau relative sempit. Dan apakah partikelnya terutama berukuran besar, kecil atau menengah. Istilah ukuran partikel ini membawa konotasi kualitatif dan kuantitatif.

Secara kuantitatif, istilah tekstur tanah menunjukkan distribusi ukuran partikel yang diukur secara tepat dan proporsi berbagai rentang ukuran partikel yang menyusun tanah tertentu. Dengan demikian tekstur tanah adalah atribut intrinsic tanah dan yang paling sering digunakan untuk mengkarakterisasi susunan fisiknya. Dalam pengertian kuantitatif inilah segitiga tekstur tanah digunakan.

Secara kualitatif, kelas tekstur mewakili “rasa” bahan tanah, apakah kasar dan berpasir atau halus saat disentuh. Ahli klasifikasi tanah yang telah berpengalaman dapat merasakan dengan cara menggosok tanah yang dibasahi dengan jari-jarinya, apakah tanah bertekstur kasar atau halus, dan bahkan dapat menilai secara semi-kuantitatif kelas tekstur yang dimiliki oleh tanah tersebut.

Berdasarkan tingkat “kehalusan” tekstur tanah, maka dilakukan pengklasifikasian ke dalam beberapa macam kelas tekstur, sebagai berikut:



Gambar 5.2: Kelas Tekstur Tanah (Hardjowigeno, 2010)

Namun, dalam arti kuantitatif yang lebih ketat, istilah tekstur tanah menunjukkan distribusi ukuran partikel yang diukur secara tepat dan proporsi berbagai rentang ukuran partikel yang menyusun tanah tertentu. Dengan demikian, tekstur tanah adalah atribut intrinsik tanah dan yang paling sering digunakan untuk mengkarakterisasi susunan fisiknya. tekstur

Dari gambar di atas disimpulkan bahwa sebaran besar butir (particle size distribution) mewakili kasar halusnya tanah, sehingga merupakan penyederhanaan dari kelas tekstur tanah dengan memperhatikan fraksi tanah yang lebih kasar dari pasir (> 2 mm).

Sebaran besar butir untuk fraksi < 2 mm meliputi: berpasir, berlempung kasar, berlempung halus, berdebu kasar, berdebu halus, berliat halus, berliat sangat halus. Beberapa pengecualian adalah pada kondisi apabila fraksi halus (< 2 mm) sedikit sekali dan tanah terdiri dari kerikil, batu-batu dan lain-lain maka disebut fragmental. Bila tanah halus termasuk kelas berpasir, berlempung atau berliat, tetapi mengandung 35% atau lebih bahan kasar (kerikil dan batu-batu), maka sebaran besar butirnya disebut berpasir skeletal, berlempung skeletal dan berliat skeletal.

Tekstur tanah juga memengaruhi karakteristik kimia yang dimiliki oleh masing-masing kelas. Gambaran secara umum adalah tanah-tanah yang bertekstur pasir mempunyai luas permukaan yang kecil sehingga sulit menahan air dan unsur hara. Tanah bertekstur liat mempunyai luas permukaan yang besar sehingga kemampuan menahan air dan menyediakan unsur hara lebih tinggi. Tanah yang bertekstur halus lebih aktif secara kimia dibandingkan kedua tekstur terdahulu, yaitu pasir dan liat.

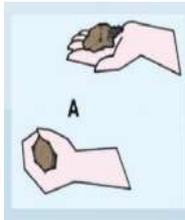
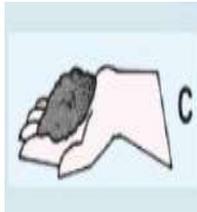
Metode penentuan kelas tekstur, dapat dilakukan secara fisika yaitu menggunakan teknik perabaan pada materi sampel tanah. Metode ini diaplikasikan di lapangan, merupakan metode sederhana dengan jumlah sampel yang sangat kecil sebesar jumputan atas materi tanah. Tanah yang basah dipijit diantara jari-jari tangan sambil dirasakan halus kasar, yaitu adanya butir-butir pasir, debu dan liat. Ciri dan identitas tekstur hasil perabaan dari berbagai kelas tekstur tanah adalah sebagai berikut:

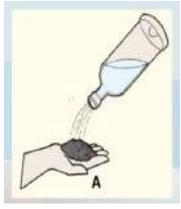
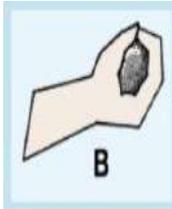
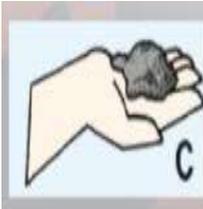
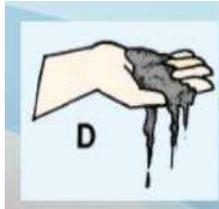
Tabel 5.1: Ciri dan Identitas Tekstur Hasil Perabaan Dari Berbagai Kelas Tekstur Tanah

Pasir	-	Rasa kasar sangat jelas
	-	Tidak melekat
	-	Tidak dapat dibentuk bola dan gulungan
Pasir berlempung	-	Rasa kasar jelas
	-	Sedikit sekali melekat
	-	Dapat dibentuk bola yang mudah sekali hancur
Lempung berpasir	-	Rasa kasar agak jelas
	-	Agak melekat
	-	Dapat dibentuk bola, mudah hancur
Lempung	-	Rasa tidak kasar dan tidak licin
	-	Agak melekat
	-	Dapat dibentuk bola agak teguh, dapat sedikit dibuat gulungan dengan permukaan mengkilat
Lempung berdebu	-	Rasa licin
	-	Agak melekat
	-	Dapat dibentuk bola agak teguh, gulungan dengan permukaan mengkilat
Debu	-	Rasa licin sekali
	-	Agak melekat
	-	Dapat dibentuk bola teguh, dapat disebut digulung dengan permukaan membulat

Lempung berliat	-	-Rasa agak licin
	-	Agak melekat
	-	Dapat dibentuk bola agak teguh, dapat dibentuk gulungan yang agak mudah hancur
Lempung liat berpasir	-	Rasa halus dengan sedikit bagian agak kasar
	-	Agak melekat
	-	Dapat dibentuk bla agak teguh, dapat dibentuk gulungan yang mudah hancur
Lempung liat berdebu	-	Rasa halus agak licin
	-	Melekat
	-	Dapat dibentuk gula teguh, gulungan mengkilat
Liat berpasir	-	Rasa halus, berat, tetapi terasa seidkit kasar
	-	Melekat
	-	Dapat dibentuk bola teguh, mudah digulung
Liat berdebu	-	Rasa halus, berat, agak licin
	-	Sangat lekat
	-	Dapat dibentuk bola teguh , mudah digulung
Liat	-	Rasa berat, halus
	-	Sangat lekat
	-	Dapat dibentuk bola dengan baik, mudah digulung

Ilustrasi penentuan tekstur dengan cara “perabaan” sebagai teknik penentuan praktis adalah sebagai berikut:

Cara kemampuan menggumpal			
			
<p>Segenggam tanah yang lembab digenggam kuat hingga membentuk</p>	<p>Lemparkan ke udara bulatan bola tanah yang sudah terbentuk</p>	<p>Jika gumpalan bola tercerai berai maka tekstur tanah banyak mengandung partikel</p>	<p>Jika gumpalan bola tetap pejal maka tekstur tanah banyak mengandung partikel liat</p>

bola		pasir	
Cara konsistensi gumpalan			
			
Segengaman tanah dibasahi	Digenggam kuat-kuat hingga butiran tanah saling menempel	Saat genggam dibuka, tanah masih menggumpal dan tidak tersisa butiran di telapak tangan. Menunjukkan tingginya kadar liat dalam tanah	Saat genggam dibuka, tanah tercerai berai tidak saling menempel satu sama lain. Menunjukkan tingginya kadar pasir dalam tanah

Gambar 5.3: Teknik Penentuan Tekstur Cara Perabaan

Tekstur ini mencerminkan ukuran partikel tanah yang dominan. Dalam skala laboratorium, penetapan tekstur tanah di laboratorium dapat dilakukan dengan analisa mekanis, yaitu menerapkan metode pipet dan metode hydrometer bouyoucus. Kedua metode ini didasarkan atas perbedaan kecepatan jatuhnya partikel-partikel di dalam air. Selanjutnya hasil dari analisa laboratorium yang berupa persentase dari fraksi tanah dimasukkan ke dalam diagram segitiga tekstur USDA.

Dalam hal kesuburan tanah, tanah yang lebih kasar umumnya memiliki kemampuan yang lebih rendah dalam menahan dan mempertahankan unsur hara dibandingkan tanah yang lebih halus. Namun, kemampuan ini berkurang karena tanah bertekstur halus mengalami pencucian yang intensif di lingkungan yang lembab.

Fungsi dan peranan penting tekstur tanah: 1). Memengaruhi sifat fisik tanah lainnya, antara lain permeabilitas, struktur, porositas, kapasitas tanah memegang air; 2). Memengaruhi resistansi tanah terhadap erosi, di mana erosi lebih mudah terjadi pada tanah bertekstur pasir sehubungan partikel-partikel yang saling lepas; 3). Memengaruhi proses penetrasi akar tanaman ke dalam

tanah. Pada tanah dengan partikel besar, akar tanaman dapat berpenetrasi dengan mudah dibandingkan pada tanah dengan butir partikel halus yang biasanya padat; 4). Menentukan tingkat infiltrasi air ke dalam tanah. Laju infiltrasi lebih mudah pada tanah bertekstur kasar dibandingkan pada tanah bertekstur halus karena partikelnya dipadatkan; dan 5). Tekstur tanah memengaruhi kesuburan tanah karena menentukan kemampuan tanah untuk memegang nutrisi dan air bagi kebutuhan tanaman.

5.2 Struktur Tanah

Struktur tanah merupakan kenampakan bentuk atau susunan partikel-partikel primer tanah (pasir, debu, liat) hingga partikel-partikel sekunder membentuk gumpalan kecil dari butir-butir tanah yang disebut agregat. Agregat yang terbentuk secara alami disebut ped, sedangkan bongkah tanah hasil pengolahan tanah disebut clod. Gumpalan struktur ini terjadi karena butir-butir pasir, debu dan liat terikat satu sama lain oleh suatu perekat seperti bahan organik, oksida-oksida besi dan lain-lain (Hardjowigeno, 2010). Gumpalan-gumpalan kecil ini mempunyai bentuk, ukuran dan kemantapan yang berbeda-beda.

Tanah yang partikel-partikelnya belum tergabung, terutama yang bertekstur pasir, disebut tanpa struktur atau berstruktur lepas (Hanafiah, 2005). Sedangkan tanah bertekstur liat yang terlihat massif (tidak memiliki ruang pori, lembek jika basah dan keras jika kering) atau apabila dilumat membentuk pasta maka disebut tanpa struktur. Struktur dapat memodifikasi pengaruh tekstur dalam hubungannya dengan kelembaban, porositas, ketersediaan unsur hara, kegiatan mikroorganisme dan pengaruh permukaan akar.

Menurut Buckman dan Brady (1982) struktur dalam keadaan bentuk aslinya berkembang dari keadaan tidak berstruktur yaitu berbutir tunggal dan pejal (massif). Dalam struktur berbutir tunggal, butir-butir padat berfungsi sebagai butir individual. Pasir yang lepas merupakan contoh yang baik. Untuk keadaan pejal tidak berstruktur didapatkan ciri seperti yang didapati pada agregat.

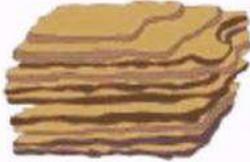
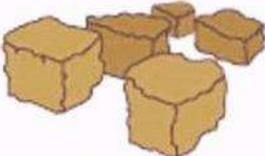
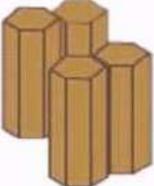
Di dalam tanah dengan struktur yang baik, partikel pasir dan debu secara bersama-sama dipegang pada agregat kecil oleh liat humus dan kalsium. Ruang kosong yang besar antara agregat (makropori) membentuk sirkulasi air dan udara juga akar tanaman untuk tumbuh ke bawah pada tanah yang lebih dalam. Sedangkan ruang kosong yang kecil antara agregat (mikropori)

memegang air untuk kebutuhan tanaman. Pengaruh struktur dan tekstur tanah terhadap pertumbuhan tanaman ini terjadi secara langsung. Struktur tanah yang remah (ringan) umumnya menyebabkan pertumbuhan tanaman yang lebih baik dibandingkan dengan pertumbuhan pada struktur tanah yang padat (berat). Panjang dan bobot akar pada tanaman yang tumbuh di tanah dengan struktur ringan umumnya lebih besar dibandingkan panjang dan bobot akar tanaman yang tumbuh di tanah berstruktur berat. Hal ini disebabkan perkembangan akar pada tanah berstruktur ringan lebih cepat dibandingkan akar tanaman pada tanah padat berstruktur berat, karena intersepsi akar lebih baik pada setiap pori-pori tanah yang banyak tersedia pada tanah remah berstruktur ringan. Selain itu akar memiliki kesempatan untuk bernafas secara maksimal pada tanah yang berpori (porous) dibandingkan pada tanah yang padat.

Bentuk-bentuk atau tipe-tipe struktur tanah dapat dibedakan menjadi:

Tabel 5.2: Tipe-tipe Struktur Tanah Dan Deskripsinya

Tipe struktur		Deskripsi ped
1. Struktur butiran (granular)	 <p style="text-align: center;">Granular</p>	<p>Relative tidak porous dan agak bulat, tidak terikat membentuk ped.</p> <p>Lokasi pada profil tanah: di horizon A</p>
2. Remah (crumb)	 <p style="text-align: center;">Crumb</p>	<p>Relative porous, membentuk ped tetapi tidak terikat.</p> <p>Lokasi pada profil tanah: di horizon A</p>

<p>3. Lempeng (platy)</p>	 <p style="text-align: center;">Platy</p>	<p>Seperti tumpukan susunan piringan yang berikatan lemah. Disebut plat jika tebal, dan laminar jika tipis.</p> <p>Lokasi pada profil tanah: di E pada tanah hutan, atau di Bt pada tanah liat</p>
<p>4. Balok (blocky)</p>	 <p style="text-align: center;">Blocky</p>	<p>Seperti balok-balok yang terbentuk dari ikatan ped yang sisi-sisinya bersudut tajam, atau bulat agak persegi. Ikatan antar ped ini sering putus membentuk balok-balok kecil.</p> <p>Lokasi pada profil tanah: di Bt</p>
<p>5. Prisma (prismatic)</p>	 <p style="text-align: center;">Prismatic</p>	<p>Seperti pilar-pilar dengan permukaan rata yang terikat oleh ped prisma lainnya sebagai penyela. Ped prisma ini ada yang pecah membentuk ped balok kecil.</p> <p>Sumbu horizontal pendek dan tidak berbentuk bulat.</p> <p>Lokasi pada profil tanah: di Bt</p>
<p>6. Tiang (columnar)</p>	 <p style="text-align: center;">Columnar</p>	<p>Seperti pilar-pilar berpermukaan bulat melingkar yang diikat secara lateral oleh ped pilar lainnya sebagai penyela.</p> <p>Sumbu horizontal lebih tinggi sehingga terlihat lebih lebar dengan bentuk cenderung membulat.</p> <p>Lokasi pada profil tanah: di Bt</p>

Struktur tanah memiliki peranan sebagai regulator pada beberapa peristiwa berikut ini:

1. Menyinambungkan arah pipa yang terbentuk dari berbagai ukuran pori-pori yang berinterkoneksi, stabilitas dan reliabilitasnya
2. Mengatur retensi dan pergerakan air tanah,
3. Difusi gas dari dan ke atmosfer
4. Mengontrol proliferasi (pertumbuhan) akar dan perkembangannya.

Dan secara tidak langsung berkaitan dengan peristiwa:

1. Erosi air atau angin
2. Penggenangan dan aerasi tanah
3. Stress tanaman akibat kekeringan
4. Pelindian (pencucian) atau kehilangan unsur hara tanaman
5. Temperature tanah

5.2.1 Mekanisme Pembentukan Struktur

Butiran tunggal dapat berkembang menjadi struktur, demikian juga bentuk massif. Bila struktur berasal dari butir-butir tunggal maka perkembangannya dimulai dari pengikatan partikel-partikel tanah membentuk cluster (gerombol) yang kemudian menjadi ped.

Menurut Gedroits (1955) ada dua tingkatan pembentuk agregat tanah, yaitu:

1. Koagulasi koloid tanah (pengaruh Ca^{2+}) ke dalam agregat tanah mikro
2. Sementasi (pengikat) agregat mikro ke dalam agregat makro

Menurut Utomo dan Dexter (1982) bahwa retakan terjadi karena pengembangan dan pengerutan sebagai akibat dari pembasahan dan pengeringan yang berperan penting dalam pembentukan agregat. Maka agregat tanah terbentuk sebagai akibat adanya interaksi dari butiran tunggal, liat, oksida besi/aluminium dan bahan organik. Agregat yang baik terbentuk karena flokulasi maupun oleh terjadinya retakan tanah yang kemudian dimantapkan oleh pengikat (sementasi) yang terjadi secara kimia atau adanya aktivitas biologi.

Menurut Hanafiah (2005), terdapat 5 mekanisme utama penyatuan partikel-partikel tanah untuk membentuk struktur yaitu:

1. Aktivitas penetrasi akar pada saat berkembang;
2. Pergerakan air yang mengikuti arah perkembangan akar menyebabkan terjadinya pengikisan dan pemecahan tanah yang kemudian memicu pembentukan ped;
3. Aktivitas keluar masuknya fauna tanah;
4. Pembasahan dan pengeringan, serta pencairan dan pembekuan yang merenggangkan dan menciutkan partikel-partikel tanah.

Menurut Buckman dan Brady (1982) peristiwa pembentukan butiran struktur tertuju pada dua golongan penting yang berkaitan dengan agregasi, yaitu: (1). Golongan faktor yang membentuk agregat; dan (2) . Golongan faktor yang memberikan kemantapan agregat sesudah terbentuk. Kedua hal ini bekerja secara simultan sehingga kadang sulit untuk memisahkan efek relative antara satu dengan lainnya.

Faktor-faktor yang saling berkaitan dengan pembentukan dan perkembangan agregat ini adalah:

1. Genesa butiran (granul).
Beberapa faktor khusus yang memengaruhi genesa agregat adalah: (1) pembasahan dan pengeringan; (2) pembekuan dan pencairan; (3) kegiatan fisik akar dan organisme tanah; (4) pengaruh sisa bahan organik dan lender mikroorganisme; (5) efek perubahan kation yang diikat; (6) pengolahan tanah.
2. Pengaruh bahan organik.
Bahan organik tidak hanya mengikat, tetapi juga memperringan dan memperbesar kemungkinan penggumpalan yang mencirikan pada agregat individual. Akar tanaman juga memperbesar kemungkinan agregasi karena terjadinya dekomposisi bahan organik dan percabangan perakaran yang begitu luas. Sifat-sifat elektrokimia dari hasil dekomposisi bahan organik maupun dari lempung cukup efektif dalam meregulasi pembentukan agregat dan memantapkannya. Produk metabolit dari mikroorganisme juga mendorong pembentukan

dan pematapan agregat, dan merupakan aspek biologi tertinggi dalam hal agregasi.

3. Efek-efek kation yang diadsorpsi.

Ciri penting dari koloid-koloid tanah baik mineral maupun organik, adalah kemampuannya mengadsorpsi kation-kation. Jika kation tertentu diadsorpsi dalam jumlah mayoritas atau keseluruhannya, maka hal ini cenderung mengembangkan ciri-ciri fisik tertentu dari agregat yang dibentuk dan sifat fisik tanah secara keseluruhan. Sebagai contoh apabila kation Natrium paling banyak diadsorpsi maka butir-butir partikel merupakan larutan disperse dan terjadi struktur yang kurang baik. Sebaliknya apabila kation Kalium mendominasi adsorpsi maka dapat terjadi granulasi yang disebabkan peristiwa flokulasi dan cenderung membentuk struktur yang diharapkan.

4. Pengaruh pengolahan.

Dampak pengolahan terhadap agregat dan granulasi dapat menguntungkan namun juga dapat merugikan. Pengolahan tanah dalam kandungan kelembaban tanah mencukupi akan memecah bongkahan dan menjadikan struktur lebih remah dan gembur sehingga menguntungkan bagi tanaman. Namun demikian dalam jangka waktu lama pengolahan tanah akan mempercepat peristiwa oksidasi bahan organik dalam tanah. Selain itu penggunaan alat-alat berat dalam pengolahan akan merusak agregat tanah yang sudah mantap.

Dari beberapa faktor yang disebutkan di atas maka sangat penting untuk memperhatikan kemantapan agregat, di mana stabilitas agregat dan ped yang terbentuk tergantung pada dua kondisi, yaitu:

1. Keutuhan tanah permukaan ped pada saat rehidrasi,
2. Kekuatan ikatan antar koloid-partikel di dalam ped pada saat basah.

5.2.2 Faktor yang Memengaruhi Pembentukan Agregat

1. Bahan Induk

Variasi penyusun tanah tersebut memengaruhi pembentukan agregat-agregat tanah serta kemantapan yang terbentuk. Kandungan liat menentukan dalam pembentukan agregat, karena liat berfungsi sebagai pengikat yang diabsorpsi pada permukaan butiran pasir dan setelah dihidrasi tingkat reversibilitasnya sangat lambat. Kandungan liat > 30% akan berpengaruh terhadap agregasi, sedangkan kandungan liat < 30% tidak akan berpengaruh terhadap agregasi.

2. Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah merupakan bahan pengikat setelah mengalami pencucian. Pencucian ini dipercepat dengan adanya organisme tanah, di mana bahan organik dan organisme ini saling berhubungan erat.

3. Tanaman

Tanaman dapat membantu pembentukan agregat yang mantap. Akar tanaman dapat menembus tanah dan membentuk celah berpori. Adanya tekanan akar akan membuat butir-butir tanah semakin melekat dan padat. Air yang diserap oleh tanaman tersebut dapat membentuk celah-celah di antara pori tanah.

4. Organisme Tanah

Pembentukan agregat juga dapat dipercepat oleh keberadaan organisme tanah. Peranan langsung organisme ini adalah melalui pembuatan lubang dan menggemburkan tanaman. Peranan secara tidak langsung adalah melalui peristiwa perombakan sisa-sisa tanaman yang digunakan sebagai sumber metabolisme untuk kemudian diproduksi kembali menjadi bahan pengikat tanah (metabolism by product).

5. Waktu

Waktu menjadi penentu berlangsungnya proses pembentukan struktur tanah. Semakin lama waktu proses berjalan maka agregat yang terbentuk pada tanah tersebut semakin mantap.

6. Iklim

Iklim berpengaruh pada proses pengeringan, pembasahan, pembekuan, dan pencairan. Iklim ini menjadi faktor yang sangat berpengaruh terhadap pembentukan agregat tanah.

5.2.3 Nilai Struktur Tanah

Nilai struktur tanah berhubungan dengan tingkat adhesi inter agregat dan stabilitas agregat. Empat nilai struktur tanah adalah sebagai berikut:

1. Tanpa struktur.

Partikel tidak tersusun menjadi ped atau agregat. Jika pemisahan tidak terikat bersama (tidak koheren), seperti pada pasir kasar, maka digunakan istilah butir tunggal. Jika partikel terikat erat (koheren), seperti di lapisan tanah yang sangat kompak atau di tanah permukaan yang tergenang, maka digunakan istilah masif.

2. Lemah.

Ped atau agregat terbentuk dengan cara yang buruk sehingga hampir tidak dapat diamati di tempatnya.

3. Sedang.

Ped yang terbentuk dengan cara yang baik dan cukup tahan lama yang tidak terlalu berbeda di tanah yang tidak terganggu.

4. Kuat.

Ped yang terbentuk tahan lama dan cukup jelas di tanah yang tidak terganggu dan menjadi terpisah ketika tanah terganggu.

Pembentukan ped dan agregat tidak terlepas dari keberadaan agen perekat (cementing agent). Secara umum terdapat tiga kelompok bahan koloidal (partikel berdiameter $< 1 \mu\text{m}$) yang bertindak sebagai agen perekat agregasi tanah, yaitu:

1. Mineral-mineral liat koloidal;
2. Oksida-oksida besi dan mangan koloidal;
3. Bahan organik koloidal, termasuk hasil aktivitas dan perombakan sel-sel mikrobial.

Memperhatikan keterkaitan antara tekstur dan struktur maka secara garis besar dapat dilakukan pembedaan atas kedua hal tersebut sebagai berikut:

Tabel 5.3: Keterkaitan dan Perbedaan Tekstur Dan Struktur Tanah

Istilah-istilah	Tekstur	Struktur
Definisi	Proporsi relatif dari partikel-partikel tanah dalam berbagai ukuran	Pengaturan dan pengorganisasian partikel-partikel dan agregat-agregat tanah
Komposisi	Terutama ditentukan oleh proporsi partikel pasir, debu dan liat	Ditentukan oleh faktor-faktor seperti pengaturan partikel, agregasi dan kompaksi (pemadatan)
Ukuran partikel	Mengacu kepada partikel tanah individual yang diklasifikasikan sebagai pasir, debu dan liat	Mengacu pada pengaturan dan pengelompokan partikel-partikel tanah menjadi agregat
Pengukuran	Ditentukan melalui analisis laboratorium menggunakan metode analisis pengayakan	Dikaji secara visual atau melalui perabaan fisik terhadap contoh tanah
Kestabilan	Relatif stabil dan tidak banyak dipengaruhi oleh praktek pengelolaan tanah	Lebih rentan terhadap perubahan dan dapat dipengaruhi oleh praktek pengelolaan tanah
Faktor pengaruh	Memengaruhi karakteristik tanah seperti kapasitas pegang air, drainase dan penahanan unsur hara	Memengaruhi karakteristik tanah seperti porositas, permeabilitas, penetrasi akar dan aerasi tanah
Keutamaan	Mendukung penetapan kesuburan tanah, ketersediaan air tanah dan pengelolaan tanah	Memengaruhi produktivitas tanah, siklus nutrisi dan praktek pengelolaan tanah

Bab 6

Konsistensi Tanah

6.1 Pengertian Konsistensi Tanah

Konsistensi tanah diartikan sebagai bentuk kerja fisik akibat gaya adhesi dan kohesi tanah pada berbagai tingkat kelengasan. Bentuk kerja tersebut tercermin antara lain: ketahanan tanah terhadap gaya tekanan, gaya gravitasi dan tarikan serta kecenderungan massa tanah untuk melekat satu dengan yang lain atau terhadap benda lain. Faktor utama yang memengaruhi konsistensi tanah adalah kondisi kelengasan tanah (kering, lembab, basah) dan tekstur tanah (terutama kandungan lempung). Berdasarkan kandungan airnya, konsistensi tanah dapat dinyatakan dalam tingkat kekerasan (*hardness*), kepadatan (*firmness*), kelenturan (*plasticity*), dan kelekatan (*stickiness*).

Dengan demikian, untuk mengukur konsistensi tanah perlu dilakukan pada setiap kondisi kandungan air tanah. Pada kondisi kering, konsistensi tanah diukur berdasarkan tingkat kekerasannya, yaitu tanah yang lepas, lunak, agak keras, keras, sangat keras, atau keras sekali. Kekerasan ini berkaitan erat dengan kandungan liat tanah. Pada tanah lembab, konsistensi tanah diukur berdasarkan tingkat kepadatannya yaitu tanah yang lepas, sangat remah, remah, padat, sangat padat, atau padat sekali. Pada kondisi hampir jenuh air, konsistensi tanah ditentukan berdasarkan tingkat plastisitas (kelenturan) dan kelekatannya. Plastisitas merupakan kemampuan tanah untuk mempertahankan bentuknya sebagai akibat penekanan. Tanah yang kurang

plastis biasanya akan retak jika diberi tekanan. Berdasarkan plastisitasnya tanah dibedakan menjadi agak plastis, plastis, atau sangat plastis. Semakin tinggi kandungan liatnya, maka tanah biasanya semakin plastis.

Kelekatan merupakan kemampuan tanah untuk bergabung dengan benda-benda lain. Tanah yang berkadar liat tinggi akan semakin mudah lekat dibandingkan dengan tanah yang kandungan liatnya rendah. Kelekatan ini sangat besar perannya dalam pengolahan tanah pada kondisi basah. Tanah yang mudah lekat akan mempersulit pengolahan tanah sehingga dikategorikan sebagai tanah berat. Sedangkan tanah yang kaya pasir dikategorikan sebagai tanah ringan.

6.2 Pengukuran Konsistensi Tanah

Konsistensi tanah juga mempunyai hubungan dengan tekstur tanah. Tanah pasir biasanya tak lekat, tak liat dan lepas. Sebaliknya tanah lempungberat memiliki konsistensi sangat liat, sangat teguh, dan keras. Faktor-faktor yang memengaruhi konsistensi tanah adalah kadar air tanah, bahan-bahan penyemen agregat tanah, bahan dan ukuran agregat tanah, tingkat agregasi, dan faktor-faktor penentu struktur tanah (tekstur, macam lempung, dan kadar bahan organik).

Tanah-tanah yang mempunyai konsistensi baik umumnya mudah diolah dan tidak melekat pada alat pengolahan tanah. Pentingnya konsistensi tanah adalah untuk menentukan cara penggarapan tanah yang efisien dan penetrasi akar tanaman di lapisan tanah bawah. Tanah yang bertekstur pasir bersifat tidak lengket, tidak liat (non plastic) dan lepas-lepas. Sebaliknya tanah bertekstur lempung-berat pada keadaan basah berkonsistensi sangat lengket, sangat liat dan bila kering bersifat sangat teguh (kuat) dan keras. Tanah dengan konsistensi yang baik, umumnya mudah diolah dan tidak melekat pada alat pengolahan tanah

Konsistensi tanah adalah kekuatan material tanah yang disatukan atau ketahanan tanah terhadap deformasi dan pecah. Konsistensi tanah diukur untuk sampel tanah basah, lembab, dan kering. Untuk tanah basah, konsistensi tanah dinyatakan sebagai tingkat kelekatan dan plastisitas, seperti yang didefinisikan di bawah ini. Konsistensi tanah dapat diperkirakan di lapangan dengan menggunakan tes sederhana atau dapat diukur dengan lebih akurat di

laboratorium. Pengujian dilakukan ketika tanah jenuh dengan air, seperti, misalnya, segera setelah hujan deras. Pertama, tentukan kelekatan, yaitu kemampuan bahan tanah untuk melekat pada benda lain. Kemudian, menentukan plastisitas, yaitu kemampuan material tanah untuk mengubah bentuk, tetapi tidak volumenya, secara terus menerus di bawah pengaruh tekanan yang konstan dan untuk mempertahankan bentuk yang terkesan ketika tekanan dihilangkan.

Penentuan nilai konsistensi dibagi menjadi dua bagian yaitu kualitatif dan kuantitatif dengan pendekatan angka Atterberg yaitu batas cair (BC), batas lekat (BL), batas gulung (BG), dan batas perubahan warna (BBW). Bilangan atterberg memiliki hubungan antara kadar lengas tanah (%) dengan konsistensi tanah, serta pendekatan tambahan yaitu indeks plastisitas dan waktu olah tanah.

Penentuan nilai/tingkat konsistensi tanah dilakukan pada tiga kondisi, yaitu:

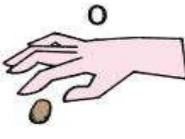
1. Konsistensi basah merupakan penetapan konsistensi tanah pada kondisi kadar air tanah di atas kapasitas lapang (field cappacity).
2. Konsistensi lembab merupakan penetapan konsistensi tanah pada kondisi kadar air tanah sekitar kapasitas lapang.
3. Konsistensi kering merupakan penetapan konsistensi tanah pada kondisi kadar air tanah kering udara

6.2.1 Konsistensi Tanah Basah

1. Uji lapangan untuk kelengketan tanah basah
Tekan sedikit tanah basah di antara ibu jari dan telunjuk untuk mengetahui apakah tanah tersebut akan menempel pada jari ataupun tidak. Kemudian buka jari-jari secara perlahan. Nilai tingkat kelengketan tanah dapat dikategorikan sebagai berikut:

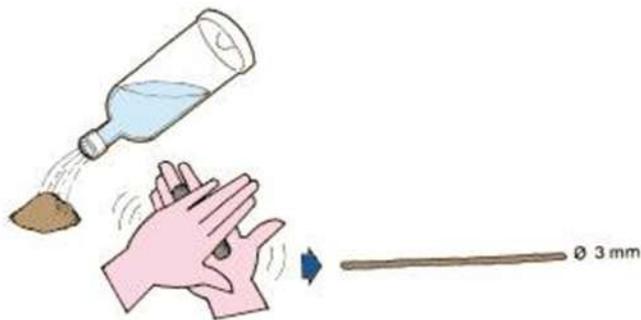
Tabel 6.1: Konsistensi Tanah basah

Kategori	Ilustrasi	Keterangan
0 (Tidak Lengket)		tidak ada tanah atau praktis tidak ada tanah yang menempel di jari-jari

		
1 (Sedikit lengket)		jika tanah mulai menempel di jari-jari tetapi terlepas dengan bersih dan tidak meregang saat jari-jari dibuka
2 (Lengket)		jika tanah menempel pada ibu jari dan telunjuk dan cenderung sedikit meregang dan melengket daripada melepaskan diri dari jari-jari
3 (Sangat lengket)		jika tanah menempel kuat pada ibu jari dan telunjuk dan meregang saat jari dibuka

2. Uji lapangan untuk plastisitas tanah basah

Uji lapangan terhadap nilai plastisitas tanah dilakukan dengan menggulung sedikit tanah basah di antara telapak tangan hingga membentuk strip bundar panjang seperti kawat setebal 3 mm (gambar 1). Nilai plastisitas tanah dikategorikan sebagai berikut:



Gambar 6.1:Prosedur Pengujian Plastisitas Tanah Basah

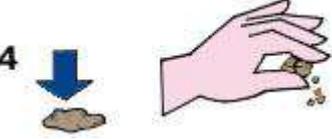
Kategori	Ilustrasi	Keterangan
0 (Tidak plastis)	 0	jika tidak ada kawat yang dapat dibentuk
1 (Sedikit plastis)	 1	jika kawat dapat dibentuk tetapi dapat dengan mudah dipatahkan dan dikembalikan ke keadaan semula
2 (Plastis)	 2	jika kawat dapat dibentuk tetapi, ketika dipatahkan dan dikembalikan ke keadaan semula, kawat tidak dapat dibentuk lagi
3 (Sangat plastis)	 3	jika kawat dapat dibentuk yang tidak mudah patah dan, ketika patah, dapat digulung di antara kedua tangan dan dibentuk ulang beberapa kali.

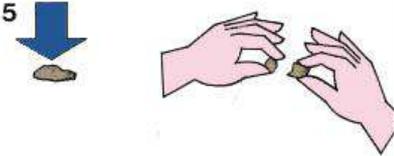
6.2.2 Penentuan Konsistensi Tanah Pada Kondisi Lembab

Pengujian dilakukan ketika tanah lembab tetapi tidak basah, misalnya, 24 jam setelah hujan deras. Proses pengujian dapat dilakukan dengan menghancurkan sedikit tanah yang lembab dengan menekannya di antara ibu jari dan telunjuk atau dengan meremasnya di telapak tangan (gambar 2). Nilai konsistensi tanah lembab sebagai berikut:



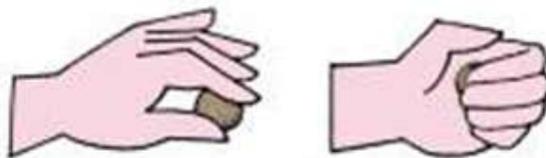
Gambar 6.2: Prosedur Pengujian Konsistensi Tanah Lembab

Kategori	Ilustrasi	Keterangan
0 (gembur)		jika tanahnya tidak koheren (struktur butiran tunggal)
1 (Sangat rapuh)		jika tanah mudah hancur di bawah tekanan yang sangat lembut tetapi akan tetap menyatu jika ditekan lagi
2 (Rapuh)		jika tanah mudah hancur di bawah tekanan lembut hingga sedang
3 (Kuat)		jika tanah hancur di bawah tekanan sedang tetapi resistensi terlihat
4 (Sangat kuat)		jika tanah hancur di bawah tekanan yang kuat, tetapi hal ini sulit dilakukan di antara ibu jari dan telunjuk

<p>5 (Sangat keras)</p>		<p>jika tanah hancur hanya karena tekanan yang sangat kuat, tidak dapat dihancurkan di antara ibu jari dan telunjuk, tetapi harus dipecah sedikit demi sedikit</p>
-------------------------	---	--

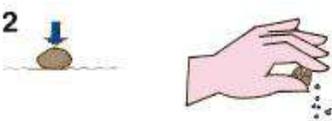
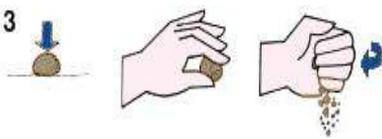
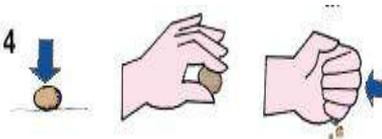
6.2.3 Penentuan Konsistensi Tanah Kering

Pengujian dilakukan ketika tanah telah dikeringkan dengan udara. Pengujian dilakukan dengan memecah sedikit tanah kering dengan menekannya di antara ibu jari dan telunjuk atau dengan meremasnya di telapak tangan (gambar 3). Nilai konsistensi tanah kering sebagai berikut:



Gambar 6.3.: Prosedur Pengujian Konsistensi Tanah Kering

Kategori	Ilustrasi	Keterangan
<p>0 (gembur)</p>		<p>jika tanahnya tidak koheren (struktur butiran tunggal)</p>

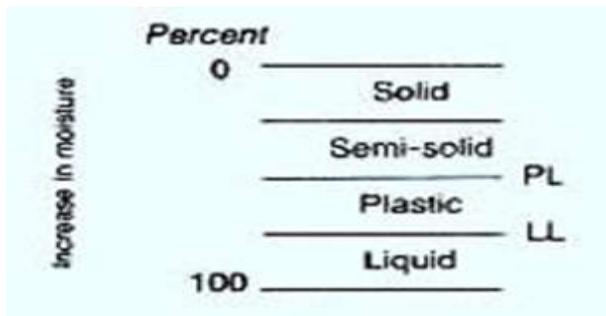
1 (Lunak)		jika tanah sangat lemah dan gembur. pecah menjadi bubuk atau butiran individu di bawah tekanan yang sangat kecil
2 (Agak keras)		jika tanah menahan tekanan ringan, tetapi dapat dengan mudah dipatahkan antara ibu jari dan telunjuk
3 (Keras)		jika tanah menahan tekanan sedang, hampir tidak dapat dipatahkan antara ibu jari dan telunjuk, tetapi dapat dipatahkan di tangan tanpa kesulitan
4 (Sangat keras)		jika tanah menahan tekanan yang besar, tidak dapat dipatahkan di antara ibu jari dan telunjuk tetapi dapat dipatahkan di tangan dengan susah payah

<p>5 (Sangat keras)</p>		<p>jika tanah menahan tekanan ekstrem dan tidak dapat dipatahkan dengan tangan</p>
-------------------------	---	--

6.2.4 Penentuan Konsistensi Tanah Menggunakan Angka Batas Atterberg

Seperti yang dapat dilihat dari berbagai pengujian tanah basah, lembab dan kering di atas, konsistensi sampel tanah berubah seiring dengan jumlah air yang ada. Perubahan konsistensi tanah tersebut dapat diukur secara akurat di laboratorium dengan mengikuti prosedur standar yang menentukan Angka Batas Atterberg. Batas-batas ini kemudian dapat digunakan untuk menilai kesesuaian tanah, misalnya, untuk bedengan tanaman, pematang sawah, guludan maupun bentuk modifikasi lain terhadap lahan pertanian.

Batas Atterberg berhubungan dengan kadar air di mana sampel tanah berubah dari satu konsistensi ke konsistensi lainnya. Dua dari Batas Atterberg sangat penting untuk lahan pertanian, yaitu batas cair dan batas plastis, yang ditentukan dari tiga konsistensi tanah tersebut.



Gambar 6.4: Nilai Batas Atterberg

Batas cair (LL)

Persentase kadar air di mana tanah berubah dengan berkurangnya kebasahan dari konsistensi cair ke konsistensi plastis atau dengan bertambahnya kebasahan dari konsistensi plastis ke konsistensi cair.

Batas plastis (PL)

Persentase kadar air di mana tanah berubah dengan berkurangnya kebasahan dari konsistensi plastis ke semi padat atau dengan bertambahnya kebasahan dari semi padat ke konsistensi plastis.

Batas plastis adalah batas bawah dari kondisi plastis. Sedikit peningkatan kelembaban di atas batas plastis akan merusak kohesi* tanah. Catatan: batas-batas ini dapat dengan mudah dan murah ditentukan di laboratorium, dengan menggunakan sampel yang terganggu atau tidak terganggu.

Batas cair dan batas plastis bergantung pada jumlah dan jenis lempung yang ada di dalam tanah:

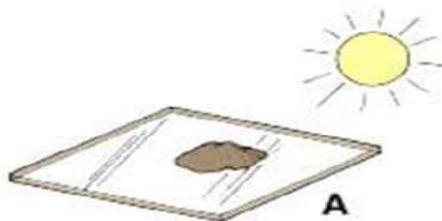
1. Tanah dengan kandungan lempung/liat yang tinggi biasanya memiliki LL dan PL yang tinggi;
2. Lempung koloid memiliki LL dan PL yang lebih tinggi daripada lempung non-koloid;
3. Pasir, kerikil, dan gambut tidak memiliki plastisitas, PL-nya = 0;
4. Lanau/debu memiliki plastisitas hanya sesekali, PL-nya sama atau sedikit lebih besar dari 0.

Contoh: Tes laboratorium umum yang menunjukkan rata-rata LL dan PL

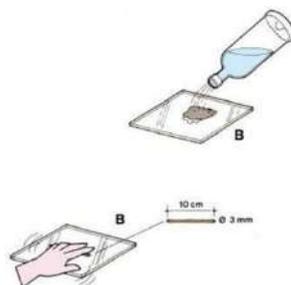
Jenis Tanah	Batas Cair (LL)	Batas Plastis (PL)
Pasiran	20	0
Debu/Lanau	27	20
Lempung/Liat	100	45
Lempung koloid	299	46

6.2.5 Penentuan Batas Plastik Di Lapangan - Metode Uilir

Ambil sampel tanah dan biarkan mengering secara alami dengan cahaya matahari



Tambahkan sedikit air pada sampel tanah dan gulung di atas permukaan yang datar seperti piring kaca kecil. Cobalah untuk membentuk benang setebal 3 mm dan panjang 10 cm tanpa memutuskannya



Jika percobaan pertama tidak berhasil, tambahkan sedikit air dan coba lagi. Ulangi proses ini, tambahkan sedikit air setiap kali, sampai didapatkan benang menggulung. Kadar air kemudian akan sesuai dengan batas plastik dan dapat dinyatakan sebagai persen dari berat sampel.



6.2.6 Perhitungan Indeks Plastisitas dan Signifikansinya

Berdasarkan batas cair dan batas plastis, indeks plastisitas (PI) dapat didefinisikan sebagai perbedaan/selisih nilai di antara keduanya:

$$PI = LL - PL$$

Indeks plastisitas dinyatakan dalam persen dari berat kering sampel tanah. Indeks ini menunjukkan ukuran kisaran kadar air di mana tanah masih bersifat plastis. Secara umum, indeks plastisitas hanya bergantung pada jumlah lempung yang ada. Indeks ini menunjukkan kehalusan tanah dan kapasitasnya untuk berubah bentuk tanpa mengubah volumenya. PI yang tinggi menunjukkan adanya kelebihan lempung atau koloid di dalam tanah. Nilainya adalah nol jika PL lebih besar atau sama dengan LL.

Kategori	Jenis Tanah	PI (%)	Tingkat Plastisitas
I	Pasir atau debu	0-1	Tidak plastis
	Cenderung liat	1-5	Sedikit plastisitas
	Sedikit liat	5-10	Plastisitas rendah
II	Lempung berliat	10-20	Plastisitas sedang
III	Liat berlempung	20-35	Plastisitas tinggi
	Berliat/liat	>35	Plastisitas sangat tinggi

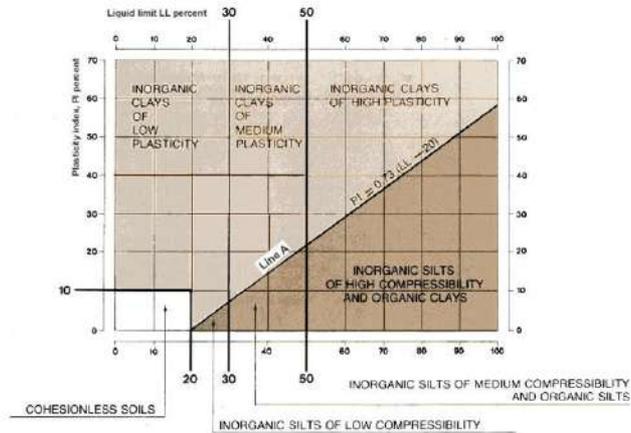
6.2.7 Bagan Plastisitas untuk Tanah Berbutir Halus

Banyak sifat lempung dan lanau (tanah kohesif) seperti kompresibilitas* (reaksi terhadap uji goncangan dan konsistensi di dekat batas plastis) dapat dikorelasikan dengan batas cair dan indeks plastisitas. Korelasi ini telah dinyatakan dalam grafik plastisitas Casagrande untuk tanah berbutir halus.

Hal ini didasarkan pada pengamatan berikut:

1. Ketika batas cair tanah meningkat, plastisitas dan kompresibilitas tanah juga meningkat;
2. Nilai $LL = 30$ persen dan $LL = 50$ persen membedakan berbagai tingkat plastisitas tanah anorganik;

3. Pada nilai LL yang sama, kekuatan kering tanah anorganik umumnya meningkat dengan meningkatnya indeks plastisitas.



Gambar 6.5: Bagan Plastisitas Untuk Tanah Berbutir Halus

Sebagai contoh: Grafik plastisitas untuk tanah berbutir halus (lihat Gambar 5) dibagi menjadi enam bagian oleh garis miring A yang ditarik sedemikian rupa sehingga $PI = 0,73 (LL - 20)$ dan dua garis vertikal yang ditarik pada $LL = 30\%$ dan $LL = 50\%$.

Bab 7

Drainase Tanah

7.1 Pengertian Drainase Tanah

Menurut sejarah, manajemen air untuk keperluan pertanian juga ditemukan di Mesopotamia kira-kira 9.000 tahun yang lalu. Drainase adalah usaha memindahkan kelebihan air dari lahan pertanian, asalnya ditemukan pada 2.500 tahun yang lalu Ketika Herodotus menulis tentang pekerjaan drainase di kota dekat Memphis di Mesir. Marcus Porcius Cato, 234 –149 SM, telah menulis hal pertama tentang arah drainase tanah. Drainase tanah untuk reklamasi daerah dekat Laut Utara di Inggris dimulai pada abad 10. Belanda memulai pengolahan tanahnya dengan drainase dan tanggul pada tahun 1550 (Pengajar et al., 2011).

Saat ini drainase dipandang sebagai hasil pekerjaan pertanian, yang disempurnakan untuk berbagai keperluan seperti pada manajemen air, konservasi tanah dan air, keamanan lingkungan dan perbaikan kondisi kesehatan manusia.

Drainase tanah merupakan proses pengelolaan air dalam tanah untuk menghindari genangan air yang berpengaruh buruk terhadap pertumbuhan tanaman. Biasanya dilakukan pada lahan yang tergenang seperti daerah dataran rendah atau daerah yang sering terkena curah hujan tinggi.

Drainase juga membantu transisi tanah ke keadaan gembur lebih cepat selama periode pengeringan, kecuali untuk sebagian besar tanah liat. Potensi limpasan umumnya berkurang dengan drainase bawah permukaan karena pemadatan berkurang dan kadar air tanah berkurang dengan menghilangkan kelebihan air, yang memungkinkan tanah menyerap lebih banyak air melalui infiltrasi (Magdoff, 1993).

Memperbaiki drainase tanah dapat dicapai dengan memasukkan bahan organik seperti kompos atau pupuk kandang yang sudah busuk, yang memperbaiki struktur tanah dengan meningkatkan agregasi tanah dan memungkinkan ukuran pori yang lebih banyak dan bervariasi. Agregat tanah adalah kelompok partikel mineral yang saling mengikat, dan tanah dengan kandungan bahan organik tinggi memiliki stabilitas agregat yang lebih besar

Air yang masuk ke dalam tanah dapat diserap oleh akar tanaman, mengalir ke sungai atau waduk, atau terkumpul di bawah permukaan tanah dalam akuifer. Namun, jika volume air yang masuk ke dalam tanah terlalu banyak dan tidak dapat diserap atau dialirkan dengan cepat, maka dapat terjadi genangan air yang dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman.

Drainase tanah bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan genangan air di lahan pertanian atau lahan lainnya. Salah satu cara untuk meningkatkan drainase tanah adalah dengan membuat saluran drainase atau pipa yang terhubung ke sumur resapan atau sistem pembuangan air lainnya. Selain itu, teknik pengolahan tanah seperti penggemburan tanah atau pengendapan bahan organik dapat membantu meningkatkan sirkulasi udara dan drainase tanah.

7.2 Drainase dalam Bidang Pertanian

Drainase, sementara sekarang ini dipandang sebagai sebuah hasil pekerjaan pertanian, yang disempurnakan untuk berbagai keperluan seperti pada manajemen air, konservasi dan perbaikan kondisi kesehatan manusia. Drainase pertanian merupakan proses pengelolaan volume drainase dan elevasi muka air dengan mengatur aliran air dari sistem drainase pertanian, aliran permukaan, infiltrasi dan aliran bawah permukaan (Strzepek et al., 1980)

Drainase tanah menunjukkan kecepatan meresapnya air dalam tanah. Pergerakan air dalam tanah dipengaruhi oleh tekstur tanah. Tekstur tanah yang didominasi pasir, maka pergerakan air dalam tanah (perkolas) akan lebih baik

dibandingkan dengan tanah yang memiliki tekstur didominasi liat dan debu. Pori-pori tanah akan sedikit sehingga menghambat pergerakan air dalam tanah.

Drainase tanah juga menunjukkan bahwa keadaan tanah lamanya dan seringnya

Tanah jenuh air.

Tabel 7.1: Karakteristik Kelas Drainase Tanah untuk Evaluasi Lahan (Wirosodarmo, 2017)

No	Kelas Drainase	Uraian
1	Cepat (excessively drained)	Tanah mempunyai konduktivitas hidrolis tinggi sampai sangat tinggi dan daya menahan air rendah. Ciri yang dapat diketahui di lapangan, yaitu tanah berwarna homogen tanpa bercak atau karatan besi dan aluminium serta warna gley (reduksi).
2	Agak Cepat (somewhat excessively drained)	Tanah mempunyai konduktivitas hidrolis tinggi dan daya menahan air rendah. Ciri yang dapat diketahui di lapangan, yaitu tanah berwarna homogen tanpa bercak atau karatan besi dan aluminium serta warna gley (reduksi).
3	Baik (well drained)	Tanah mempunyai konduktivitas hidrolis sedang dan daya menahan air sedang, lembap, tapi tidak cukup basah dekat permukaan. Ciri yang dapat diketahui di lapangan, yaitu tanah berwarna homogen tanpa bercak atau karatan besi dan/atau mangan serta warna gley (reduksi) pada lapisan O sampai 100 cm
4	Agak baik (moderately well drained)	Tanah mempunyai konduktivitas hidrolis sedang sampai agak rendah dan daya menahan air (pori air tersedia) rendah, tanah basah

		dekat permukaan. Ciri yang dapat diketahui di lapangan, yaitu tanah berwarna homogen tanpa bercak atau karatan besi dan/atau mangan serta warna grey (reduksi) pada lapisan O sampai 50 cm.
5	Agak terlambat (somewhat poorly drained)	Tanah mempunyai konduktivitas hidrolik agak rendah dan daya menahan air (pori air tersedia) rendah sampai sangat rendah, tanah basah sampai ke permukaan. Ciri yang dapat diketahui di lapangan, itu tanah berwarna homogen tanpa bercak atau karatan besi
6	Terhambat (poorly drained)	Tanah mempunyai konduktivitas hidrolik rendah dan daya menahan air (pori air tersedia) rendah sampai sangat rendah, tanah basah untuk waktu yang cukup lama sampai ke permukaan. Ciri yang dapat diketahui di lapangan, yaitu tanah mempunyai warna gley (reduksi) dan bercak atau karatan besi dan/atau mangan sedikit pada lapisan sampai permukaan.
7	Sangat terhambat (very poorly drained)	Tanah dengan konduktivitas hidrolik sangat rendah dan daya menahan air (pori air tersedia) sangat rendah, tanah basah secara permanen dan tergenang untuk waktu yang cukup lama sampai ke permukaan. Ciri yang dapat diketahui di lapangan, yaitu tanah mempunyai warna gley (reduksi) permanen sampai pada lapisan permukaan.

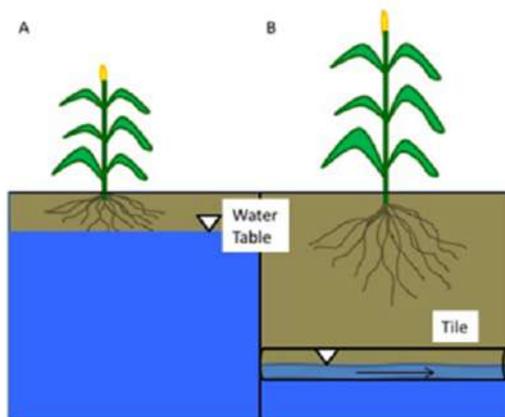
7.3 Pengaruh Drainase Terhadap Tanah Pertanian

Dalam Pertanian pengelolaan drainase sangat dibutuhkan untuk pertumbuhan tanaman yang baik. Drainase pertanian adalah pengelolaan air untuk meningkatkan produktivitas tanaman, dan meningkatkan kelembaban tanah dan mempertahankan ketersediaan air pada zona akar secara memadai (Yimer

et al., 2023). Drainase secara umum dapat memengaruhi kondisi tanah pertanian. Yaitu pengaruhnya terhadap aerasi tanah, kelembaban tanah, transportasi dan keefektifan nutrisi dan pestisida, temperatur atau suhu tanah, bahan-bahan racun dan hama penyakit, erosi tanah dan banjir, kesuburan tanaman dan hasil tanaman. Kesemua pengaruh adalah positif dari perspektif pertanian dan menggambarkan nilai teknologi drainase untuk produksi pertanian

Drainase juga dapat menimbulkan pengaruh negatif antara lain (Easton et al., 2016):

1. Drainase dapat meningkatkan hilangnya nitrat, fosfat, dan bahan kimia lainnya yang mudah bergerak dalam tanah dengan air drainase. Larutnya beberapa unsur hara ini dapat berdampak negatif pada hilir sungai. Misalnya saja drainase pertanian dikaitkan dengan peningkatan eutrofikasi atau pertumbuhan alga yang disebabkan oleh nitrat dari pengeringan lahan). Sebab, drainase meningkatkan nitrifikasi dan menurunkan penyerapan nitrat oleh tanaman atau mikroorganisme.
2. Drainase mengubah hidrologi suatu lahan. Pada kawasan terdrainase, tanah bertindak sebagai spons menyimpan air, asalkan tidak jenuh air, tanah akan melepaskannya secara perlahan ke sungai atau saluran air sekitarnya. Drainase bawah permukaan juga dapat meningkatkan efek spons dengan menurunkan permukaan air, memungkinkan lebih banyak air meresap saat curah hujan tinggi. Namun, sistem drainase dirancang untuk memperpendek jalur aliran permukaan, langsung mengalirkan air ke sungai atau saluran air lainnya.
3. Sistem drainase (dengan cara hidrologi modifikasi) telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap penggenangan air, sehingga kehilangan lahan subur akibat genangan berkurang. Hidrologis modifikasi tidak berarti bahwa lahan rawa dikeringkan secara eksplisit atau sengaja, melainkan begitu mengubah kondisi permukaan air melalui drainase. Namun melalui drainase dapat mengubah hidrologi dan fungsi lahan rawa dapat ditingkatkan.
4. Aliran Permukaan bisa meningkat erosi dan limpasan permukaan.



Gambar 7.1: Aerasi Buruk Dan Sistem Perakaran Dangkal (A) Dapat Di Atasi Melalui Drainase (B), Meningkatkan Aerasi Dan Memungkinkan Daerah Perakaran Lebih Dalam (Craft et al., 2018)

Gambar 1 menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman akan terganggu pada kondisi drainase buruk. Permukaan air tanah tinggi, sehingga mengakibatkan terbatasnya pergerakan akar. Keterbatasan pergerakan akar mengakibatkan terbatasnya penyerapan unsur hara sehingga mengganggu pertumbuhan tanaman. Mengelola hidrologi tanah dengan bangunan drainase bawah tanah akan menurunkan permukaan air tanah. Daerah perakaran akan semakin luas, sehingga akar tanaman leluasa bergerak dan meningkatkan penyerapan unsur hara.

Secara umum daerah pesisir pantai memiliki karakteristik sumberdaya air yang relatif kurang baik dibandingkan dengan daerah lainnya sehingga potensinya sebagai lahan pertanian sulit dikembangkan. Pada daerah-daerah seperti ini dibutuhkan suatu sistem drainase pertanian yang memiliki potensi sebagai penyuplai kebutuhan air untuk lahan pertanian di sekitarnya. Tanah di daerah ini yang memiliki tekstur yang didominasi oleh pasir sangat memungkinkan air meresap ke dalam tanah (infiltrasi) lebih tinggi sehingga dibutuhkan saluran atau bangunan drainase yang mengalirkan air ketempat lain sebagai suplai air tanah untuk lahan pesisir di bagian hilir saluran drainase.

Menurunnya permukaan air tanah dapat meningkatkan produksi tanaman. Peningkatan produksi tanaman ini adalah dengan bangunan drainase. Manfaat dari bangunan drainase tersebut antara lain (Craft et al., 2018):

1. Drainase menghilangkan kelebihan air tanah di zona perakaran, memungkinkan peningkatan aerasi tanah. Penggenangan berkepanjangan dan tanah yang buruk aerasi dapat membuat tanaman stres dan mengurangi hasil (Gambar. 1).
2. Drainase dapat meningkatkan kemampuan lalu lintas air dan udara dalam tanah, sehingga memungkinkan pergerakan akar lebih laluasa sekaligus mengurangi pemadatan tanah. Tanah yang lebih kering kurang rentan terhadap pemadatan dibandingkan tanah basah.
3. Drainase memungkinkan tanaman berakar lebih dalam sistem di lapangan tanpa menghambat atau memadatkan lapisan tanah (Gambar. 1), memungkinkan akar menyerap lebih besar unsur hara dan air tanah.
4. Drainase dapat mengurangi variabilitas dari tahun ke tahun dalam hasil panen dari lahan yang memiliki drainase buruk. Drainase bisa meningkatkan nitrifikasi (konversi amonia menjadi nitrat) di sebagian besar tanah, menghasilkan lebih banyak nitrat serapan tanaman.
5. Menghilangkan kelebihan air tanah dengan drainase dapat membantu tanah menjadi lebih cepat kering, sehingga memungkinkan penanaman dapat diatur.
6. Drainase bawah permukaan dapat membantu mengurangi erosi permukaan dan limpasan permukaan.

7.3.1 Erosi Tanah dan Banjir

Pengelolaan drainase dapat mengurangi risiko banjir dan pengikisan tanah (erosi). Perbaikan drainase bawah permukaan pada lahan pertanian telah diketahui pengaruh negatif dan positifnya pada hidrologi dan kualitas air permukaan. Diantara pengaruh yang signifikan pada drainase bawah tanah pada hidrologi adalah penurunan muka air tanah, waktu yang pendek saat terjadi banjir. Hal ini diakibatkan oleh meningkatnya perkolasi yang mengalirkan air ketempat yang lebih rendah sehingga berkurangnya aliran permukaan,. Pada lahan pertanian, perbaikan drainase telah diketahui dapat menurunkan aliran permukaan, banjir, dan erosi dan kandungan sedimen Sungai (Yimer et al., 2023).

Drainase bawah permukaan pada lahan pertanian dapat memberikan pengaruh negatif dan positif terhadap hidrologi dan kualitas air permukaan. Di antara dampak signifikan drainase bawah tanah terhadap hidrologi adalah (Craft et al., 2018):

Efek positif:

1. Meningkatkan perkolasi
2. Mengurangi aliran permukaan

Efek negatif:

1. Penurunan muka air tanah
2. Waktu yang singkat pada saat banjir
3. Mengurangi aliran bawah tanah

Air drainase permukaan dan bawah permukaan dari pertanian beririgasi biasanya mengalami penurunan kualitas dibandingkan dengan kualitas pasokan air aslinya. Air drainase yang mengalir di atas atau melalui tanah akan menyerap berbagai zat terlarut dan tersuspensi termasuk garam, senyawa organik, dan partikel tanah. Pengelolaan penggunaan kembali dan pembuangan yang aman memerlukan pemahaman tentang karakteristik air drainase, dan kesesuaian karakteristik tersebut dengan kebutuhan perlindungan lingkungan di area penggunaan kembali atau pembuangan. Pembahasan pada bagian ini berfokus pada karakteristik air drainase yang berpotensi menjadi pencemar lingkungan (Yimer et al., 2023).

Masing-masing dari ketiga proses ini memerlukan pendekatan manajemen yang berbeda untuk mengurangi dampaknya. Misalnya, dalam contoh pertama, sumber polutan dapat dihilangkan atau dibatasi. Sebaliknya, konsentrasi padatan terlarut oleh ET adalah proses alami yang dihasilkan dari penggunaan air konsumtif dan tidak dapat dihindari. Satu atau lebih dari proses ini mungkin terjadi, sehingga meningkatkan kompleksitas menilai masalah dan mengembangkan solusi untuk masalah kualitas air yang diberikan. Gambar 2 menggambarkan perbedaan dalam kompleksitas penilaian masalah kualitas air yang mungkin terkait dengan pengelolaan air drainase (Craft et al., 2018).

7.3.2 Kelembaban Tanah

Drainase tanah dapat menentukan jenis tanaman mana yang tumbuh paling baik di suatu daerah. Banyak tanah pertanian membutuhkan drainase yang

baik untuk meningkatkan atau mempertahankan produksi atau untuk mengelola pasokan air. Drainase yang buruk (menyebabkan daerah yang tergenang air) dapat diidentifikasi dengan memeriksa warna tanah. Di zona yang didominasi oleh periode saturasi yang lebih lama, dan dengan demikian, mungkin ada bintik-bintik yang menempati area kecil dan warnanya berbeda dari matriks tanah

Drainase akan memengaruhi kelembaban tanah, di mana tanah dengan tingkat kelembaban yang cukup akan memengaruhi tingkat pertumbuhan tanaman. Beberapa faktor yang dapat meningkatkan kelembaban tanah antara lain rendahnya angka permeabilitas tanah, kemiringan topografi yang kecil, profil tanah bawah permukaan serta waktu untuk peresapan air yang panjang. Faktor-faktor tersebut membuat sistem drainase lahan dapat bermanfaat untuk menaikkan produksi pertanian



Gambar 7.2: Ciri-Ciri Tanah Pada Kondisi Drainase Buruk (Sameh K. Abd-Elmabod, 2017)

Gambar 7.2 menunjukkan ciri-ciri tanah pada kondisi drainase buruk, (A) Gleying kuat di dekat permukaan (menunjukkan reduksi zat besi biokimia) di tanah dataran tinggi yang teroksidasi—kondisi ini terjadi ketika kedalaman permukaan tanah di awal musim dan tanah menjadi jenuh karena air yang berada di dalamnya. (B) Berkurangnya pori-pori di tanah dataran tinggi karena saturasi musiman dan pengurangan zat besi (C) Material dengan gley kuat

yang terbentuk akibat kejenuhan air pada horizon atas yang lebih teroksidasi dalam tanah yang terkena dampak genangan. ((D) Kroma rendah, bernilai tinggi (abu-abu) kondisi bahan organik permukaan di tanah yang terkena dampak genangan dengan zona jenuh dangkal. (E) Contoh perubahan warna yang cepat pada bahan organik di cekungan drainase saat terkena udara—bahan oranye terang di tengah foto mewakili bahan organik beku setelah penggalian langsung dari lubang tanah sebelum terkena oksigen, sedangkan bahan yang lebih gelap di atas dan di bawah adalah bahan organik beku yang sama setelah terpapar oksigen selama kurang lebih 3 jam. Perubahan warna yang cepat ini kemungkinan disebabkan oleh reaksi redoks yang melibatkan mangan dan sulfat (Sameh K. Abd-Elmabod, 2017)

7.3.3 Transportasi Nutrient dan Pestisida

Drainase pertanian, baik drainase permukaan maupun drainase bawah permukaan kadang-kadang mengandung nutrisi dan bahan kimia pada konsentrasi yang cukup, sehingga sangat signifikan untuk mencemari lingkungan.

Sistem inovasi pertanian bermakna sebagai proses dari berbagai elemen-elemen (aktor) baik individu atau kelompok yang saling berhubungan, berinteraksi untuk menginisiasi, mendatangkan, merekayasa dan mendifusikan teknologi baru untuk mendapatkan manfaat secara ekonomi dalam lingkungan atau kawasan tertentu (Sayekti & Mardianto, 2019).

7.3.4 Aerasi Tanah

Manfaat utama dari sistem perencanaan drainase lahan untuk produksi pertanian di lahan basah adalah untuk memperbaiki aerasi tanah. Air yang mengalir di dalam tanah akan menyebabkan berkurangnya pertukaran udara antara butiran tanah dan atmosfer yang menghasilkan penurunan kadar oksigen (O_2) di zona perakaran serta bertambahnya karbon dioksida (CO_2) (Pengajar et al., 2011).

Pada kandungan oksigen (O_2) yang rendah, maka terjadi pengurangan kadar mineral di dalam tanaman. kandungan oksigen (O_2) yang rendah di dalam tanah juga memengaruhi kondisi pertumbuhan tanaman. Aerasi tanah sangat memengaruhi perkembangan akar. Pernapasan akar yang leluasa akan meningkatkan perkembangan akar sehingga penyerapan hara meningkat.

Aerasi tanah yang baik diperoleh dari sistem drainase yang baik (Sameh K. Abd-Elmabod, 2017).

Perencanaan drainase lahan untuk produksi pertanian di lahan basah adalah untuk memperbaiki aerasi tanah. Air yang mengalir di dalam tanah akan menyebabkan berkurangnya pertukaran udara diantara butiran tanah dan atmosfer yang menghasilkan penurunan kadar oksigen (O_2) di zona perakaran serta bertambahnya karbon dioksida (CO_2). Hal ini telah ditemukan bahwa pada konsentrasi oksigen (O_2) yang rendah, maka terjadi pengurangan kadar mineral di dalam tanaman. Konsentrasi oksigen (O_2) yang rendah di dalam tanah juga memengaruhi tingkat pertumbuhan tanaman (Pengajar et al., 2011).

7.3.5 Suhu Tanah

Tanah yang tidak mengalami proses drainase, suhunya menjadi dingin dan kelak dapat menghambat pertumbuhan panen tanaman. Sektor pertanian berperan strategis dalam perekonomian nasional. Sehingga membutuhkan perhatian khusus dalam penanganannya. Peran strategis tersebut ditunjukkan oleh perannya dalam pembentukan kapital, penyediaan bahan pangan, bahan baku industri, pakan dan bio energi, penyerap tenaga kerja, sumber devisa negara, dan sumber pendapatan, serta pelestarian lingkungan.

Sistem inovasi pertanian bermakna sebagai proses dari berbagai elemen-elemen (aktor) baik individu atau kelompok yang saling berhubungan, berinteraksi untuk menginisiasi, mendatangkan, merekayasa dan mendifusikan teknologi baru untuk mendapatkan manfaat secara ekonomi dalam lingkungan atau kawasan tertentu (Sayekti & Mardianto, 2019).

7.3.6 Bahan-bahan Beracun dan Hama Penyakit

Pengelolaan air tanah dengan drainase membantu menghilangkan penyakit-penyakit yang dapat merugikan manusia seperti penyakit demam berdarah. Drainase yang baik juga menurunkan risiko gagal panen. Manfaat bagi tanaman adalah tanaman hidup lebih subur dan produktif yang akhirnya menghasilkan bertambahnya nilai ekonomi.

Drainase dapat meningkatkan hilangnya nitrat, fosfat, dan bahan kimia lainnya yang mudah bergerak dalam tanah dengan air drainase. Larutnya beberapa unsur hari ini dapat berdampak negatif pada hilir sungai. Misalnya saja drainase pertanian dikaitkan dengan peningkatan eutrofikasi atau pertumbuhan alga yang disebabkan oleh nitrat dari pengeringan lahan). Sebab, drainase

meningkatkan nitrifikasi dan menurunkan penyerapan nitrat oleh tanaman atau mikroorganisme. Namun dapat menjadi keracunan pada tempat penumpukan bahan-bahan terlarut tersebut. Unsur hara yang terbawa aliran permukaan akan memindahkan dan menumpuk unsur hara pada tempat baru sehingga akan menjadi racun bagi tanaman. Penumpukan unsur hara pada suatu tempat menjadi berlebih bagi tumbuhan di sekitarnya

7.4 Sistem Tata Air

Sistem tata air pada umumnya bisa dibagi atas 3 bagian, yaitu:

1. Tata Air Makro (sungai) adalah tata air pada tingkat kawasan reklamasi dan berperan menentukan apa yang dapat dicapai dan bagaimana caranya.
2. Tata Air Meso (prasarana hidraulik) adalah penghubung antara tata air mikro dan makro. Prasarana hidraulik inilah yang harus menyediakan kondisi yang layak bagi tata air mikro dan sekaligus juga berfungsi sebagai sarana transportasi dan pemasok air domestik.
3. Tata Air Mikro (tingkat petak) adalah tata air pada lahan pertanian dan bertanggung jawab langsung atas tumbuhnya tanaman. Menciptakan lingkungan yang baik bagi tumbuhnya tanaman adalah tujuan utama dari sistem tata air ini.

Sistem tata air yang direncanakan harus mampu menjaga dan mengendalikan muka air tanah agar sesuai dengan kebutuhan zona perakaran. Ini berarti bahwa muka air tanah harus > 10 cm untuk tanaman padi dan > 60 cm untuk lahan perkebunan.

Untuk mencapai tujuan tersebut maka di lahan diterapkan sistem tata air drainase terkendali (drain system controlled). Jaringan saluran harus mampu mengalirkan kelebihan air dan mengontrol tinggi muka air, sehingga muka air tanah di lahan tetap terjaga pada elevasi yang diinginkan..

Bab 8

Aerasi Tanah

8.1 Komposisi Udara Tanah

Aerasi adalah kegiatan pelubangan dan pembuatan celah-celah yang bermaksud agar udara dan air dapat menembus ke bawah permukaan tanah (Hessoayon, 1994). Aerasi tersebut dapat dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu spiking dan pricking. Spiking merupakan cara yang digunakan untuk membuat saluran udara sampai kedalaman minimal 3 inchi, maksud dari spiking ini untuk mengurangi pemadatan tanah dengan cara memperbaiki drainase dan merangsang pertumbuhan akar – akar baru pada tanaman. Sedangkan *pricking* merupakan suatu cara yang digunakan untuk membuat saluran udara sampai kedalaman kurang dari 3 inchi atau 0.5 – 1.5 inchi. *Pricking* ini bertujuan untuk mematahkan seluruh permukaan vegetasi mati, membantu jalannya air dan jalannya pupuk kedalam tanah (Hessoayon, 1994).

Istilah lain dari aerasi tanah adalah kondisi tata - udara dalam tanah atau keluar masuknya udara dalam tanah. Aerasi tanah terdiri dari aerasi tanah baik dan aerasi tanah buruk, terjadinya aerasi tanah baik ditandai dengan keluar masuknya udara kedalam tanah tanpa hambatan sedangkan aerasi tanah buruk akan mengalami hambatan dalam proses keluar masuknya udara dalam tanah.

Aerasi tanah dapat diartikan sebagai proses pertukaran udara di dalam tanah yang berkenaan dengan porositas tanah, perkembangan akar tanaman dan

kesuburan tanah (Gambar 8.1). Tanah yang memiliki kadar oksigen tinggi akan terdapat banyak mikroorganisme aerobik yang dapat berfungsi untuk mengoksidasi bahan organik.

Menurut Baver (1956) jika terjadi hambatan aerasi dalam tanah maka pertumbuhan dan produksi tanaman juga ikut terhambat sehingga mengakibatkan diantaranya:

1. Terhambatnya tumbuh dan berkembang akar;
2. Terhambatnya respirasi akar;
3. Terhambatnya serapan air dan zat hara di dalam tanah;
4. Terhambatnya aktivitas mikroba sehingga yang berkaitan dengan kesuburan di dalam tanah ikut terhambat.

Tujuan utama aerasi adalah untuk menggerakkan udara di dalam tanah sehingga lapisan padat yang terjadi di bawah permukaan tanah dapat terpecahkan. Lapisan pada di dalam tanah dapat mengakibatkan rusaknya rumput secara serius sehingga diperlukan usaha pemecahan sampai kedalamnya. Lapisan padat biasanya terbentuk akibat dari partikel tanah yang tertekan oleh beban berat, terinjak dan landasan jalan. Menurut Baver (1972) aerasi tanah merupakan perpindahan gas CO₂ dan O₂ di antara ruang pori tanah dan atmosfer. CO₂ diproduksi dan O₂ dikonsumsi di dalam tanah melalui proses respirasi perakaran tanaman dan aktivitas mikroba.

Udara tanah terdapat dalam ruang pori tanah tetapi yang utama dari udara tanah yaitu kebutuhan oksigen yang pasti cukup untuk aktivitas mikroba. Adapun fungsi udara tanah diantaranya:

1. Oksigen (O₂) sebagai pernapasan akar, mikroorganisme, jasad renik dan fauna tanah,
2. Karbon dioksida (CO₂) dapat membantu melarutkan unsur hara
3. N₂ sebagai suplai N tanah
4. Mencegah mengeringnya akar tanaman dan mikroba
5. Membantu memindahkan air ke dalam tanah.

Komposisi udara tanah dinyatakan kandungannya dalam persen (%) gas-gas tersebut yaitu N₂, O₂, CO₂ dalam udara tanah. Komposisi masing-masing gas selalu berubah-ubah sangat tergantung keadaan luar dan keadaan dalam tanah. Keadaan luar yang sangat memengaruhi adalah adanya perubahan iklim, oleh

sebab itu, konsentrasi CO₂ dalam tanah itu lebih besar dari konsentrasi gas CO₂ udara luar, hal ini diakibatkan adanya penimbunan gas CO₂ yang dihasilkan oleh mikroorganisme dan akar dalam tanah. Sebagai contoh komposisi udara di dalam tanah dan di luar seperti disajikan pada Tabel 8.1.

Tabel 8.1: Komposisi Udara di beberapa Tempat (Puja, 2016)

Tempat	% Volume		
	O ₂	CO ₂	N ₂
Udara Tanah			
- Inggris	20,65	0,25	79,20
- Iowa	20,40	0,20	79,40
- New York	15,10	4,50	31,40
Udara Luar	20,97	0,03	79,00

Komposisi udara dalam tanah sangat tergantung dari akar tanaman, respirasi mikroorganisme, laju pertukaran gas dengan atmosfer, daya larut CO₂ dan O₂ di dalam air. Menurut Nurhayati et al, (1984) mengemukakan bahwa terbatasnya udara dalam tanah dapat menghambat tumbuh dan berkembang akar, terhambatnya respirasi akar, penyerapan air dan unsur hara. Terbatasnya udara tanah selain terhambat aktivitas jasad renik dalam tanah yang mengakibatkan terganggunya proses biologi tanah. Menurut Russel & Appleyard (1951) komposisi udara tanah dengan berbagai keadaan pemanenan dan kondisi pemupukan. Persentase komposisi udara tanah seperti di sajikan pada Tabel 8.2 berikut:

Tabel 8.2: Komposisi gas - gas dalam Udara Tanah (Russel & Appleyard, 1951)

Gas	Komposisi (%)
	Udara Tanah
N ₂	79.2,
O ₂	20.6,
CO ₂	0.25

Oksigen (O₂) yang mengisi udara tanah sedikit lebih kecil dibandingkan udara atmosfer. CO₂ yang mengisi udara tanah adalah sebanyak enam atau tujuh kali lebih besar dibandingkan udara atmosfer. Nilai – nilai tersebut dapat dapat berubah sesuai dengan musim, kondisi tanah, pemanenan, pengolahan tanah dan aktivitas biologi dalam tanah.

Menurut Hakim et al., (1986) kandungan CO₂ dalam udara tanah kurang lebih (\leq) 6 sampai 7 kali lebih besar tersebut diakibatkan oleh:

1. Terjadi perbedaan suhu antara lapisan – lapisan tanah. Hal ini terjadi akibat berkurang dan meningkat udara di dalam ruang pori-pori tanah dan udara panas cenderung bergerak kebagian atas yang mengakibatkan pertukaran antara tanah dengan atmosfer.
2. Tanah dan atmosfer umumnya mempunyai perbedaan suhu. Perbedaan suhu ini akan berpotensi pergantian gas atmosfer dengan gas yang bersumber dari tanah.

Sedangkan persentase komposisi udara atmosfer adalah pada Tabel 8.3 berikut:

Tabel 8.3: Komposisi gas - gas dalam Atmosfer (Russel & Appleyard, 1951)

Gas	Komposisi (%)
	Udara Tanah
N ₂	79
O ₂	20.97
CO ₂	0.03

Konsentrasi karbon dioksida meningkat di atmosfer berdampak terhadap iklim global, suhu rata-rata tahunan, dan pola curah hujan. meningkatnya CO₂ atmosfer sangat memengaruhi laju tumbuh dan perilaku tanaman (Strain 1985). Hasil penelitian Taufiq & Sundari (2012) menunjukkan bahwa Peningkatan CO₂ atmosfer dari 349 μ L menjadi 700 μ L peningkatan laju pertukaran karbon (C), menurunnya laju transpirasi, dan peningkatan efisiensi pemanfaatan air. Keadaan lingkungan di atas tanah dan di dalam tanah secara tunggal dan kaitannya secara langsung maupun tidak langsung sangat memengaruhi pertumbuhan tanaman.

Menurut Kohnke (1980) kandungan CO₂ yang terdapat pada udara tanah berkisar antara 0,1% sampai 5,0%, jika terdapat aerasi jelek bisa mencapai 20%. Jika terjadi reduksi (kondisi tergenang) udara tanah akan banyak mengandung hydrogen sulfida, methan dan amoniak. Kohnke (1980) faktor yang menyebabkan CO₂ dan O₂ udara tanah disajikan pada Tabel 8.4 yang merupakan dampak terhambat aktivitas akar, mikroba dan difusi sehingga akibatnya adalah naiknya kandungan CO₂ dan menurunnya kandungan O₂.

Tabel 8.4: Faktor yang Memengaruhi Kandungan CO₂ dan O₂ Udara Tanah (Kohnke, 1980)

Faktor	Kandungan CO ₂		Akibat
	Lebih Tinggi	Lebih Rendah	
musim	musim panas	musim dingin	terhambatnya aktivitas akar & mikroba
perlakuan	tambahkan pupuk kandang dan kapur	tanpa	terhambatnya aktivitas akar & mikroba
kadar air	tanah basah	tanah kering	terbatasnya difusi
tekstur tanah	tekstur halus	tekstur kasar	terhambatnya laju difusi, diakibatkan tingginya kelembaban
struktur tanah	agregat tanah lemah	gembur	terhambatnya laju difusi, diakibatkan tingginya kelembaban
kedalaman tanah	sub soil	topsoil	terhambatnya laju difusi, diakibatkan tingginya kelembaban, akibat adanya topsoil

Kadar CO₂ lebih tinggi di dalam tanah yang diberikan pupuk kandang, diberi kapur, di beri pupuk anorganik dan bervegetasi di dibandingkan dengan pada tanah yang tidak dilakukan perlakuan dan tidak bervegetasi. Kadar CO₂ lebih tinggi di dalam tanah basah dibandingkan dalam tanah kering hal ini disebabkan karena keterbatasan difusi. Kadar CO₂ lebih tinggi di dalam tanah lapisan bawah dibandingkan di dalam tanah lapisan permukaan, tanah permukaan mendifusikan secara langsung terhadap atmosfer sedangkan tanah lapisan bawah mendifusikan terhadap tanah lapisan permukaan. Kadar CO₂ lebih tinggi dalam tanah yang bertekstur halus dibandingkan di dalam tanah bertekstur kasar akibat terhambatnya laju difusi dan disebabkan kadar lengas yang lebih tinggi.

Perubahan musim sangat memengaruhi tata udara tanah, terutama kandungan CO₂ dan O₂. Apabila musim dingin maka, kadar CO₂ sangat rendah karena aktivitas mikroorganisme yang terbatas. Namun terjadi sebaliknya apabila pada musim semi dan gugur kandungan CO₂ sangat tinggi.

Menurut Mohr & Van Baren, 1972, faktor-faktor yang memengaruhi komposisi susunan udara tanah adalah:

1. Iklim dan Musim

Pada musim hujan di daerah tropik humid kadar udara tanah lebih sedikit dibandingkan di daerah arid.

2. Sifat Tanah

Sifat tanah yang mencakup tekstur, struktur dan tinggi muka air tanah.

3. Tanaman Penutup Tanah

Jika terdapat tanaman penutup tanah maka akan cenderung mengurangi kandungan O₂ dan meningkatkan CO₂.

Komposisi udara tanah di alam ini dipengaruhi oleh 4 (empat) faktor yaitu:

1. Sifat Tanah

Adapun hubungan antara kedalaman tanah, tekstur, CO₂ dan O₂ disajikan pada Tabel 8.5 sebagai berikut:

Tabel 8.5: Hubungan kedalaman Tanah, Tekstur dan Komposisi Udara Tanah (Puja, 2016)

Dalam	Tekstur					
	Lempung berpasir		Lempung liat berdebu		Liat berdebu	
	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂	CO ₂	O ₂
1	0,8	19,9	1,0	19,8	1,7	18,2
2	1,3	19,4	3,2	17,9	2,8	16,7
3	1,5	19,1	4,6	16,8	3,7	15,6
4	2,1	18,3	6,2	16,0	7,9	12,3
5	2,7	17,9	7,1	15,3	10,6	8,8
6	3,0	17,5	7,9	14,8	10,3	4,6
	>	<	>	<	>	<

Sifat tanah yang dapat memengaruhi susunan udara tanah yaitu kedalaman tanah, struktur tanah, tekstur tanah, kadar air dan bahan

organik. Tekstur tanah menunjukkan bahwa semakin halus tekstur tanah maka semakin tinggi kadar CO₂, juga semakin dalam masuk ke suatu horizon tanah maka semakin bertambah kadar CO₂ nya. Semakin tinggi kadar air maka makin tinggi kadar CO₂.

2. Teknik bercocok tanam

Tanah yang digunakan untuk penanaman lebih banyak mengandung CO₂ dibandingkan dengan tanah bera, karena tanah yang digunakan untuk menanam akan menggunakan O₂ dan melepaskan CO₂. Terlebih lagi jika tanah yang ditanami tersebut melakukan penambahan bahan organik maka akan meningkatkan kadar CO₂ nya.

3. Bahan organik dan kegiatan mikroorganisme

Kandungan CO₂ lebih tinggi pada tanah yang banyak mengandung bahan organik, hal ini diakibatkan oleh aktivitas mikroorganisme yang sangat aktif menghasilkan CO₂ tersebut.

8.2 Fungsi Oksigen dalam Tanah

Tanah bukanlah benda mati melainkan benda hidup yang memerlukan oksigen untuk bernafas. Populasi jasad renik / mikroba / mikroorganisme yang merupakan organisme yang berukuran sangat kecil banyak terdapat di dalam tanah. Jenis – jenis mikroba yang dijumpai di dalam tanah dari yang berukuran kecil sampai yang berukuran besar diantaranya:

1. Bakteri
2. Jamur
3. Actinomycetes
4. Ganggang
5. Semut
6. Cacing tanah
7. Serangga
8. Dan lain-lain

Oksigen di dalam tanah juga terjadi proses reaksi-reaksi kimia, oksigen akan bereaksi dengan unsur ferro mangan yang membentuk ferri dan mangan. Oleh sebab itu secara tidak langsung oksigen dalam tanah ikut mempercepat proses dekomposisi bahan organik di dalam tanah.

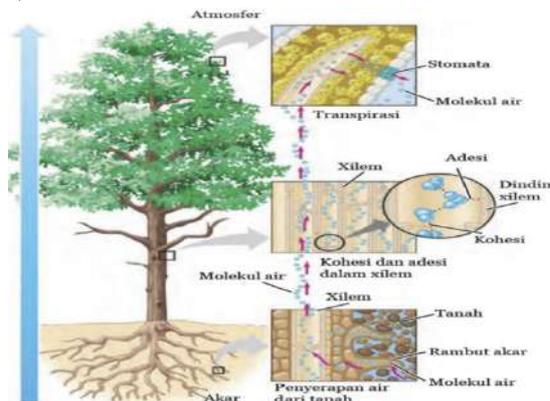
Faktor – faktor yang memengaruhi udara tanah adalah:

1. Aktivitas biologi tanah
2. Aktivitas mikroorganik atau jasad renik dalam tanah dan akar tanaman.
3. Kecepatan pertukaran udara tanah & atmosfer
4. Faktor tanah baik tekstur, struktur tanah, bahan organik tanah dan temperatur.

Sedangkan faktor yang memengaruhi pembaharuan udara di dalam tanah diantaranya:

1. Proses difusi

Tekstur tanah halus mengakibatkan terjadi proses difusi lebih cepat sebaliknya tanah yang tekstur kasar mengakibatkan proses difusi lambat. Difusi meningkat jika kandungan hara di permukaan akan menurun atau konsentrasi hara di larutan tanah meningkat. Penyerapan unsur P dan K oleh tanaman melalui proses difusi (Gambar 8.1)



Gambar 8.1: Aliran Air Dari Bawah Ke Atas Pada Tanaman: Kohesi Dan Adhesi, Serta Transpirasi (Campbell et al., 1999)

2. Aliran masa gas

Aliran massa gas terjadi disebabkan perubahan gesekan jumlah udara tanah dan udara atmosfer. Perbedaan tekanan disebabkan perubahan suhu tanah, perubahan lengas tanah dan perubahan kecepatan angin di atas tanah.

3. Air hujan

Air hujan bermuatan oksigen dapat memulihkan komposisi udara. 1 cm air hujan dengan luas lahan 1 ha bermuatan lebih kurang 4000 gram oksigen.

Ketahanan tanaman terhadap oksigen tanah diantaranya sebagai berikut:

1. Tanaman yang sangat responsif oksigen tanah

- a. Tomat
- b. Kentang
- c. Kapri

2. Tanaman yang responsif

- a. Jagung
- b. Gandung
- c. Kedelai

3. Tanaman yang resisten

Jenis rumput - rumputan

4. Tanaman yang sangat resisten

Jenis padi-padian

Kepekaan tanaman terhadap oksigen dalam tanah maka pertumbuhan tanaman akan tumbuh optimal jika kadar oksigen lebih besar dari 10% namun sebaliknya tanaman akan mati jika kadar oksigen kurang dari 10%. Jika udara tanah berlebih maka akan mengakibatkan cepatnya oksidasi bahan organik dan tanah menjadi kering. Kelebihan udara tanah biasanya terjadi pada tanah yang tekstur kasar, kandungan bahan organik tinggi, daerah bersuhu tinggi pada musim kemarau dan pengolahan tanah. Maka tanaman tumbuh normal apabila oksigen $O_2 > 10\%$ dan tanaman akan mati $O_2 < 10\%$. Udara tanah yang berlebihan dapat mengakibatkan bahan organik teroksidasi dengan cepat dan dapat mengeringkan tanah. Udara tanah yang berlebihan umumnya terdapat

pada tanah bertekstur kasar dan kandungan bahan organik yang tinggi, daerah yang suhu tinggi selama musim kemarau dan tanah terlalu sering diolah.

Pengelolaan udara tanah dapat dilakukan melalui:

1. Pengolahan tanah
2. Pemberian bahan organik tanah
3. Pemberian mulsa

Sedangkan untuk pengelolaan penanaman untuk perbaikan oksigen tanah dapat dilakukan melalui:

1. Pemupukan
2. Kerapatan tegakan tanaman
3. Jumlah dan letak
4. Waktu pembenahan sisa tanaman

Bab 9

Kematangan Tanah

9.1 Pendahuluan

Tanah terdiri atas horison-horison yang terletak di atas batuan induk yang terbentuk dari interaksi berbagai faktor pembentuk tanah seperti iklim, organisme, bahan induk dan relief yang terjadi sepanjang waktu. Proses yang berbeda dalam pembentukan tanah akan menghasilkan tanah yang berbeda pula yang dapat diamati dari sifat morfologi tanah. Morfologi tanah adalah sifat tanah yang dapat diamati dan dipelajari di lapang. Pengetahuan mengenai morfologi tanah dapat memberikan gambaran perubahan atau evolusi yang terjadi dalam tubuh tanah melalui deskripsi dan interpretasi sifat profil tanah yang dapat dijadikan sebagai informasi awal dalam mengklasifikasikan tanah. Klasifikasi tanah sangat penting untuk mengorganisasi pengetahuan kita tentang tanah sehingga sifat tanah dan produktivitasnya dapat diketahui. Pemborosan pemanfaatan lahan yang dapat mengancam kelestarian sumber daya lahan dapat dihindari jika penggunaan suatu jenis tanah didasarkan atas sifat-sifat yang dimilikinya, sehingga pemanfaatan atas tanah dapat lebih produktif (Harjowigeno, 1993).

Sistem klasifikasi tanah yang digunakan untuk mengelompokkan tanah berdasarkan kesamaan dan kemiripan sifat yang dimiliki yaitu sistem soil taxonomy USDA dari kategori ordo hingga family sehingga sifat-sifat tanah

yang penting untuk pertanian atau engineering dapat diketahui secara lebih pasti dan terperinci.

Klasifikasi secara menyeluruh membutuhkan banyak data yang terdiri dari warna, kadar air, kekuatan tekan, dan sifat lainnya. Warna tanah. Dalam sistem klasifikasi tanah, warna tanah menjadi salah satu ciri pembeda tanah. Warna tanah dijadikan sebagai salah satu penciri pada Sistem Taksonomi Departemen Pertanian Amerika Serikat. Penerapannya misalnya pada orde tanah Mollisol. Tanah yang berwarna gelap ditetapkan memiliki kualitas baik. Karena tanah yang gelap memiliki kandungan bahan organik yang relatif tinggi, agregat yang stabil dan tingkat kesuburan yang tinggi. Klasifikasi tanah berdasarkan pH dapat terbagi menjadi 4 macam, yaitu tanah netral, tanah basa, tanah asam dan tanah sangat asam. Tanah netral memiliki pH sebesar 6,5–7,5 pH. Tanah basa memiliki pH lebih dari 7,5 pH. Tanah asam memiliki pH kurang dari 6,5 pH. Tanah yang sangat asam memiliki pH kurang dari 5,5 pH. Kematangan tanah dapat diketahui dengan cara meremas bagian tanah yang dalam keadaan basah. Tujuan klasifikasi kematangan tanah untuk mengetahui kestabilan tanah. Informasi ini berguna untuk keperluan mekanis dan teknis. Pada tanah Andosol, klasifikasi kematangan tanah penting untuk mengetahui sifat licin pada tanah.

Kematangan tanah dapat dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu tanah matang, tanah agak matang dan tanah mentah. Tanah yang diremas dengan kekuatan penuh dan tidak ada bagian tanah yang jatuh melalui sela-sela jari, maka disebut tanah matang. Jika tanah termasuk tanah agak matang, setelah diperas akan berjatuh beberapa bagian tanah di sela-sela tangan. Namun, sebagian besar masih berada di telapak tangan. Sedangkan ciri tanah mentah adalah jatuh ketika sedikit tenaga diberikan untuk meremasnya dan tanah jatuh dari sela-sela jari. Tanah yang tertinggal sangat sedikit di telapak tangan.

Diameter butiran tanah dijadikan sebagai ciri klasifikasi dengan mengamati kelipatan nilainya. Pada klasifikasi ini, pengelompokan berdasarkan kepada persentase jumlah kerikil, pasir, lanau dan lempung.

9.2 Kematangan Gambut

Gambut memiliki tingkat pembusukan yang berbeda. Ada beberapa gambut yang sudah matang karena materi pembentukannya sudah terdekomposisi dan ada yang belum sehingga tingkat kematangannya pun berbeda-beda. Selain itu, gambut berdasarkan tingkat kesuburannya dibagi menjadi Eutrofik, Mesotrofik dan Oligotrofik.

Berdasarkan tingkat kematangannya, gambut dibedakan menjadi tiga jenis yaitu gambut saprik, hemik dan fibrik. Gambut saprik (matang) adalah gambut yang sudah melapuk lanjut dan bahan asalnya tidak dikenali, gambut hemik (setengah matang) adalah gambut setengah lapuk, sebagian bahan asalnya masih bisa dikenali, Gambut fibrik (mentah) adalah gambut yang belum melapuk, bahan asalnya masih bisa dikenali (Agus dan Subiksa, 2008).

Untuk membedakan tingkat kematangan atau pelapukan tanah gambut adalah dengan memperhatikan warna. Jenis tanah gambut fibrik akan memperlihatkan warna hitam muda (agak terang), kemudian disusul hemik dengan warna hitam agak gelap dan seterusnya saprik berwarna hitam gelap (Subiksa dan Wahyunto, 2011). Kematangan gambut bervariasi karena terbentuk dari bahan, kondisi lingkungan, dan waktu yang berbeda. Gambut yang telah matang akan cenderung lebih halus dan lebih subur, sebaliknya yang belum matang banyak mengandung serat dan kurang subur (Suswati dkk., 2011).

9.3 Jenis Gambut Berdasarkan Tingkat Kematangannya

Saprik (matang), yaitu gambut yang sudah melapuk dan bahan asalnya sudah tidak bisa dikenali. Warnanya coklat tua hingga hitam dan strukturnya relatif lebih halus, sehingga bila diremas oleh tangan kandungan serat yang tertinggal di tangan kurang dari 15%.

Hemik (setengah matang), yaitu gambut setengah lapuk dan sebagian bahan induknya masih bisa dikenali. Warnanya coklat dan strukturnya lebih kasar dari gambut saprik tetapi lebih halus dari gambut fibrik, sehingga bila diremas bahan serat yang tertinggal di tangan berada di kisaran 15-75%.

Fabrik (mentah), yaitu gambut yang belum melapuk dan bahan induknya bisa dikenali dengan mudah. Warnanya coklat dan strukturnya didominasi oleh serat kasar, sehingga bila diremas bahan serat yang tertinggal di tangan sebanyak lebih dari 75% (Anonim, 2023).

9.4 Jenis Gambut Berdasarkan Tingkat Kesuburannya

Eutrofik, yaitu gambut yang subur dan kaya akan bahan mineral, basa dan unsur hara lainnya. Gambut tipe ini biasanya memiliki lapisan yang tipis dan dipengaruhi oleh sedimen sungai atau laut sehingga pada umumnya tersebar di daerah pantai dan sungai.

Mesotrofik, yaitu gambut agar subur dan dicirikan dengan kandungan mineral basa yang sedang. Lapisan mesotrofik memiliki tingkat kesuburan yang lebih rendah dari lapisan eutrofik, tetapi lebih tinggi dari lapisan oligotrofik.

Oligotrofik, yaitu gambut yang tidak subur karena miskin mineral dan hara. Gambut jenis ini biasanya jauh dari pengaruh lumpur sungai dan laut. Gambut oligotrofik mempunyai kandungan kation basa seperti Ca, Mg, K, dan Na sangat rendah terutama pada gambut dalam. Hal ini menyebabkan tingkat kesuburan gambut oligotrofik menjadi paling rendah. Gambut oligotrofik banyak dijumpai pada gambut pedalaman di Kalimantan (Anonim, 2023).

9.5 Tingkat Kematangan Lahan Gambut Yang Terkonversi Menjadi Perkebunan Kelapa Sawit

Tingkat kematangan gambut terbagi tiga jenis yaitu fibrik, hemik dan saprik. Di lapangan tingkat kematangan gambut ditentukan dengan metode perasan yang dapat ditunjukkan dengan melihat hasil cairan dan sisa bahan perasan dengan tangan dan juga dengan menggunakan larutan natrium pirofosfat.

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, didapatkan bahwa tingkat kematangan gambut pada setiap tahun tanam yaitu hemik dan saprik.

Hasil menunjukkan bahwa tingkat kematangan gambut di daerah penelitian rata-rata tergolong pada hemik dan saprik. Lahan gambut yang sudah lama dibuka sebagai lahan perkebunan akan menyebabkan gambut tersebut semakin matang. Hasil pengamatan di lapangan pada tempat yang berbeda tahun tanam 2004 tingkat kematangan gambut tergolong saprik dan pada tahun tanam 2006 tingkat kematangan gambut juga tergolong saprik sedangkan tahun tanam 2008 tingkat kematangan gambut tergolong hemik, 2010 tingkat kematangan gambut tergolong hemik dan pada tahun tanam 2013 tingkat kematangan gambut juga tergolong hemik. Pada pengamatan di lapangan penentuan tingkat kematangan gambut

yaitu dengan mengambil gambut dengan menggunakan tangan apabila saat diremas kurang dari sepertiga gambut yang tertinggal dalam tangan maka gambut termasuk saprik, dan apabila yang tertinggal lebih dari dua pertiga maka gambut tergolong fibrik. Gambut tergolong sebagai gambut hemik, apabila gambut yang tertinggal sebesar 50%. Gambut saprik memiliki struktur lebih halus sehingga tingkat lolosnya relatif tinggi. Selain itu penentuan tingkat kematangan gambut yaitu dengan menggunakan larutan natrium pirofosfat ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) dan kertas saring serta buku Munsell Soil Color Chart.

Kematangan gambut sangat memengaruhi tingkat kesuburan tanah serta ketersediaan hara. Gambut yang lebih matang relatif lebih baik, sehingga lebih menguntungkan bagi pertumbuhan tanaman. Daya menahan beban akan lebih tinggi apabila tingkat kematangan gambut lebih padat atau yang sudah matang (Subardja dan Suryani, 2012). Menurut Najiyati et al. (2005) gambut yang lebih halus akan lebih subur dibandingkan dengan gambut yang belum matang yang masih banyak mengandung serat yang kurang subur. Kondisi wilayah serta waktu yang berbeda akan membentuk tingkat kematangan gambut.

Gambut yang terdapat di permukaan (lapisan atas) umumnya relatif lebih matang, akibat laju dekomposisi yang lebih cepat. Namun demikian seringkali juga ditemui gambut matang pada lapisan gambut yang lebih dalam. Hal ini mengindikasikan bahwa gambut terbentuk dalam beberapa tahapan waktu, artinya gambut yang ada pada lapisan dalam pernah berada di posisi permukaan.

9.6 Tingkat Kematangan Tanah di Daerah Pasang Surut

Potensi luasan lahan rawa pasang surut yang cukup besar, maka pemanfaatannya merupakan salah satu alternatif yang dijadikan sebagai prioritas utama. Pembukaan lahan rawa pasang surut dilakukan berkaitan dengan program transmigrasi yang dimulai tahun 1969 melalui Proyek Pembukaan Persawahan Pasang Surut (P4S). Pemanfaatan lahan pasang surut untuk pertanian merupakan pilihan yang strategis untuk mendukung program ketahanan pangan khususnya pengembangan tanaman padi. Pengembangan lahan rawa memerlukan perencanaan, pengelolaan dan pemanfaatan yang tepat, dan diharapkan lahan rawa dapat dijadikan lahan pertanian yang produktif dan berkelanjutan (Widjaja-Adhi, 1995).

Menurut Pons dan Zonnevelds (1965), kegunaan nilai *n*-value merupakan nilai kematangan tanah biasanya digunakan sebagai petunjuk tingkat kematangan tanah dan untuk mengetahui besarnya penyusutan (*subsidence*) karena terjadinya perbaikan drainase untuk tanah di daerah rawa.

Proses pembentukan tanah di daerah lahan rawa terjadi dalam lingkungan jenuh air, dan pada daerah cekungan umumnya terjadi akumulasi bahan organik. Pengaruh jenuh air sangat dominan, sehingga proses reduksi paling umum terjadi yang menyebabkan tanah berwarna kelabu dan masih melumpur sehingga termasuk tanah-tanah belum berkembang. Perubahan tanah rawa dari kondisi lumpur cair, yang masih mentah, beralih ke kondisi lembek yang lekat dan akhirnya berubah menjadi tanah kering yang padat yaitu kondisi matang, disebut proses kematangan tanah. Tanah Rawa dengan kondisi tanah yang mengembang, dengan tekstur tanah halus (*liat berdebu, liat*) sampai agak halus (*lempung liat berdebu, lempung berliat*) tanah ini mengalami kematangan tanah tergolong mentah, untuk mengatasinya dengan cara membangun saluran untuk drainase maka air akan dibuang sehingga air tidak jenuh lagi, sehingga udara akan lebih banyak masuk dan tanah akan menjadi matang (Subagyo, 2006).

9.7 Tingkat Kematangan Gambut pada di Daerah Pasang Surut pada Dua Macam Penutupan Vegetasi

Tanah gambut di Indonesia belum dikelola dengan baik karena pemahaman atas karakteristik ekosistem rawa belum diketahui secara utuh. Aktivitas penebangan dan pengangkutan kayu serta pembukaan lahan rawa gambut untuk pertanian dilakukan dengan membuat saluran drainase untuk mengatur muka air tanah, hal ini menyebabkan terjadi penurunan muka air tanah dan perubahan ekosistem rawa, sehingga mengakibatkan perubahan karakteristik lahan gambut. Selain itu, adanya kebakaran hutan juga menjadi permasalahan yang sering terjadi. Berdasarkan hal tersebut, maka tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui tingkat kematangan gambut antara tanah gambut di hutan sekunder dan tanah gambut setelah terjadi kebakaran. Pengamatan dilakukan pada lapisan gambut di atas dan di bawah muka air tanah dan analisis yang dilakukan pada penelitian ini adalah tingkat kematangan yang dilakukan dengan metode perbandingan jumlah serat dalam suntikan. Selain itu, untuk memperkuat hasil analisis tersebut dilakukan Uji T-test. Secara umum telah kita ketahui bahwa kematangan gambut dapat dikatakan tinggi jika kadar serat sedikit. Hasil penelitian menunjukkan tingkat kematangan tanah gambut di hutan sekunder dominan hemik dan pada tanah gambut setelah kebakaran dominan hemik. Pada hasil Uji T-test menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Berdasarkan hasil tersebut dapat dikatakan bahwa kebakaran pada tanah gambut tidak terlalu berpengaruh terhadap tingkat kematangan gambut (Puspitasari et al., 2018).

9.8 Hubungan Tingkat Kematangan Gambut dengan Emisi CO₂

Faktor pembatas dalam pengelolaan gambut salah satunya adalah hubungan negatif antara tingkat kematangan gambut dan produktivitas lahan. Bahan fibrik biasanya diendapkan di lapisan gambut bawah, bahan ini banyak mengandung serat yang dipertahankan dalam bentuk asalnya dan masih dapat

diidentifikasi atau sedikit mengalami dekomposisi. Bahan hemik apabila tingkat dekomposisinya sedang dan saprik apabila tingkat dekomposisinya telah lanjut, beda bahan ini biasanya ditemukan di atas lapisan bahan fibrik. Dilapangan, bahan hemik dan saprik sulit dibedakan asal botaninya. Bobot isi (BI) hemik bentuk CH₄ secara angka nilainya lebih kecil daripada CO₂, namun kemampuan CH₄ dalam menyebabkan pemanasan global lebih besar.

Kehilangan C organik gambut fibrik lebih tinggi dibandingkan dengan saprik, sedangkan hemik berada diantaranya. Berdasarkan kehilangan C organiknya, stabilitas gambut fibrik paling rendah, saprik paling tinggi dan hemik berada diantara keduanya (Riwandi, 2001). Tingkat dekomposisi gambut berpengaruh nyata terhadap produksi CO₂ dengan urutan gambut fibrik > hemik > saprik (Sulistiyono, 2000). Dalam kondisi aerob, produksi CO₂ meningkat dan CH₄ menurun dan sebaliknya pada kondisi anaerob, produksi CH₄ meningkat dan CO₂ menurun. Berdasarkan hal tersebut, kehilangan karbon melalui CO₂ dan CH₄ dapat terjadi baik pada kondisi basah maupun pada kondisi kering. Dalam kondisi basah atau anaerob masalah kehilangan CO₂ sudah dapat ditekan, namun masalah yang berkaitan dengan pemanasan global harus diperhatikan. Meskipun bentuk CH₄ secara angka nilainya lebih kecil daripada CO₂, namun kemampuan CH₄ dalam menyebabkan pemanasan global lebih besar. Dekomposisi anaerob merupakan sumber utama emisi karbon ke atmosfer. Bakteri metanogenesis diproduksi melalui dekomposisi anaerob polimer organik oleh bakteri hidrolitik dan fermentasi. Faktor lingkungan yang sangat menentukan degradasi anaerob adalah kelembaban, suhu, konsentrasi substrat, dan pH (Bergman et al., 1997). Suhu merupakan faktor penting karena seluruh reaksi biologi terpengaruh oleh suhu. Kelembaban merupakan faktor penting karena seluruh kehidupan mikroorganisme memerlukan air dan kandungan air tanah mengendalikan difusi oksigen kedalam tanah, sehingga memengaruhi potensial redoks dan mempunyai kontribusi dalam proses aerobik dan anaerobik. Ketersediaan substrat baik kuantitas maupun kualitas karbon merupakan kunci pengendali dinamika gas CO₂ (Sylvia et al., 1998)

Bab 10

Sifat Kimia Tanah

10.1 Pendahuluan

Tanah merupakan benda alam yang terdiri dari tiga fase sekaligus yaitu padat, cair dan gas. Pada bentuk padat pada tanah, berasal dari bahan induk dan material organik dengan presentasi masing-masing 45% dan 5%. Selain itu, tanah terdiri dari komponen gas dan air yang berfungsi untuk menjaga aerasi dan drainase agar dapat menjalankan fungsinya sebagai ekosistem (Tan, 1998). Salah satu fungsi tanah dalam menjaga ekosistem adalah sebagai media tumbuh dan menyediakan unsur hara. Tanah mampu menyediakan unsur hara makro dan mikro dengan konsentrasi yang berbeda. Konsentrasi yang berbeda dalam menyediakan unsur hara bergantung pada sifat kimia, fisika dan biologi tanah itu sendiri. Berdasarkan tiga sifat tanah tersebut, karakteristik kimia yang berbeda juga menghasilkan respon yang berbeda dalam mendukung sebagai media tumbuh tanaman.

Sifat kimia pada tanah adalah salah satu sifat pedologi tanah atau yang mengacu pada sifat dasar tanah yang memiliki parameter berupa reaksi yang berlangsung di dalam tanah dan kandungan unsur hara yang berpengaruh dalam ketersediaannya di dalam larutan tanah dan fungsinya sebagai media tumbuh tanaman. Sifat kimia tanah terdiri dari beberapa parameter yaitu kemasaman tanah atau pH, Nitrogen (N), Pospor (P), Kalium (K), kapasitas tukar kation (KTK), kejenuhan basa (KB), kemasaman dapat ditukar, basa

dapat ditukar dan koloid tanah (Hardjowigeno, 2015) (Yuniarti, Solihin, & Putri, 2020)

10.2 pH tanah

pH tanah merupakan faktor utama dalam mendukung penyerapan unsur hara di dalam larutan tanah. pH tanah juga merupakan salah satu faktor penentu tingkat kesesuaian lahan untuk memilih tanaman t yang dapat dibudidayakan di suatu wilayah. pH tanah (Potential of Hydrogen) merupakan derajat kemasaman atau konsentrasi hidrogen yang aktif dan berada di dalam larutan tanah. Semakin besar konsentrasi H^+ maka semakin tinggi tingkat keasaman suatu larutan tanah. Fungsi pH dapat dinyatakan sebagai negatif logaritma dari konsentrasi hidrogen dengan persamaan sebagai berikut (Queensland Government, 2023)

$$pH = -\log [H^+] \dots\dots\dots(10.2.1)$$

Berdasarkan persamaan 10.2.1 dapat dilihat bahwa pH bergantung pada jumlah molekul air. Hal ini dikarenakan molekul air (H_2O) dapat mengalami ionisasi menjadi H^+ dan OH^- yang disebut sebagai autoionisasi air. Di sisi lain. Molekul air dianggap tidak mengalami perubahan sehingga disebut sebagai cairan murni dengan tetapan kesetimbangan air pada suhu normal $25^\circ C$ 1 atm adalah 1×10^{-14} sebagai berikut:



$$K_w = [H^+] \times [OH^-]$$

$$pK_w = pH + pOH$$

$$-\log 10^{-14} = pH + pOH$$

$$14 = pH + pOH \dots\dots\dots(10.2.3)$$

$$pOH = 14 - pH \dots\dots\dots(10.2.4)$$

Di dalam tanah, pH terbagi menjadi dua bagian yaitu pH yang berada pada larutan tanah atau pH aktif dan pH yang berada dalam kompleks jerapan tanah atau koloid tanah yang disebut dengan pH potensial. Secara umum, kriteria pH

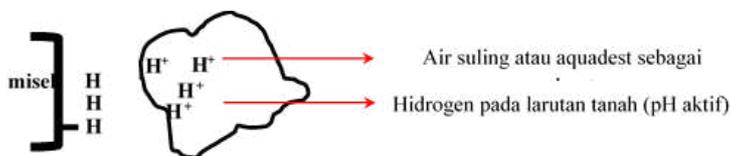
tanah dikategorikan dalam bentuk pH H₂O dan berkontribusi dalam memengaruhi pertumbuhan tanaman dengan kriteria pada Tabel 10.2.1.

Tabel 10.1: Kriteria pH aktif pada Larutan Tanah (Balai Penelitian Tanah, 2009)

Nilai	Kriteria
<4,5	Sangat masam
4,5 – 5,5	Masam
5,6 – 6,5	Agak masam
6,6 – 7,5	Netral
7,6 – 8,5	Agak alkalis
>8,5	Alkalis

10.2.1 pH Aktif (H₂O)

pH aktif merupakan konsentrasi hidrogen yang berada di dalam larutan tanah. pH aktif merupakan pH yang dapat diidentifikasi dengan menggunakan larutan air atau H₂O, sehingga pH ini disebut sebagai pH H₂O. Ilustrasi pH aktif atau pH yang berada di dalam larutan tanah dijelaskan pada Gambar 10.1. sebagai berikut.



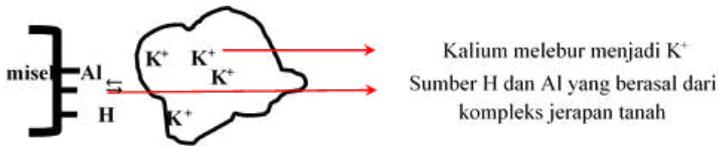
Gambar 10.1: Ilustrasi pH Aktif pada Larutan Tanah

Secara umum, pH H₂O pada larutan tanah ditentukan oleh pencampuran satu bagian air suling dengan tanah untuk mendapatkan kondisi tanah dan air yang seimbang dan diperoleh pengukuran pH yang sesuai pada suspensi tanah. Biasanya pada tanah mineral menggunakan perbandingan 1: 1 dan 1: 2,5. Sedangkan, pada tanah organik menggunakan perbandingan 1: 5 karena tanah organik tersusun atas partikel organik yang memiliki serat tinggi. Pada hal ini, semakin tinggi perbandingan yang diperoleh maka akan semakin tinggi nilai

pH karena dipengaruhi oleh faktor pengenceran. Dalam kemasaman aktif ini, sumber hidrogen berasal dari beberapa jenis, salah satunya adalah asam organik yang dihasilkan oleh penguraian bahan organik tanah, respirasi akar tanaman yang menghasilkan karbondioksida (CO_2) dan molekul air (H_2O) yang akan membentuk asam karbonat (H_2CO_3) dalam air menjadi bikarbonat dan hidrogen yang menjadi sumber kemasaman tanah (Salam, 2020).

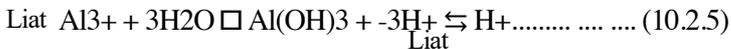
10.2.2 pH Potensial (KCl)

pH potensial merupakan konsentrasi hidrogen aktif yang berada di dalam kompleks jerapan tanah. pH potensial merupakan kemasaman yang dilarutkan menggunakan kalium klorida 1N. Ilustrasi pH potensial atau pH KCl dapat dilihat pada Gambar 10.2.



Gambar 10.2: Ilustrasi pH potensial pada kompleks jerapan tanah

Berdasarkan Gambar 10.2.2. dapat dilihat bahwa sumber kemasaman dari kemasaman potensial lebih tinggi daripada pH aktif. Hal ini dikarenakan pH potensial menggunakan pereaksi KCl yang mampu menggantikan H di kompleks jerapan (Kusuma & Yanti, 2021). Selain itu, sumber kemasaman pada pH potensial berasal dari Aluminium dengan reaksi sebagai berikut:



Berdasarkan persamaan 10.2.5 dapat dilihat bahwa aluminium yang mengalami reaksi hidrolisis, partikel liat berinteraksi dengan ion hidrogen dan bereaksi secara langsung. H^+ mampu menembus langsung lapisan mineral Al-Oktahedron. Aluminium yang dibebaskan akan langsung diserap melalui pinggiran liat menjadi liat-Al-H. Proses ini akan menyumbang hidrogen sehingga pH pada pH potensial akan lebih rendah daripada pH aktif. Apabila hal ini terjadi, maka tanah didominasi oleh muatan negatif pada kompleks jerapan tanah (Septyani, Yasin, & Gusmini, 2019)

10.2.3 Delta pH (ΔpH)

Delta pH (ΔpH) merupakan selisih antara pH aktif dengan pH potensial untuk menentukan apakah muatan bersih pada koloid tanah negatif, nol, atau positif. Nilai ΔpH dapat ditentukan dengan formula sebagai berikut,

$$\Delta\text{pH} = \text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} - \text{pH}_{\text{KCl}}$$

Nilai ΔpH bergantung pada muatan permukaan pada suatu pengambilan sampel. Nilai positif dari ΔpH menunjukkan bahwa koloid liat didominasi oleh liat bermuatan negatif. Sebaliknya, jika nilai negatif maka koloid liat didominasi oleh muatan positif (Hasibuan & Syafriadiman, 2020). Muatan titik nol dicapai apabila ΔpH bernilai 0 atau pH aktif sama dengan pH potensial.

10.3 Nitrogen Total

Nitrogen adalah suatu unsur hara makro esensial yang berfungsi dalam pertumbuhan vegetatif dan proses biokimia pada tubuh tanaman. Pada larutan tanah nitrogen merupakan senyawa yang cenderung rendah karena nitrogen merupakan unsur hara mobil akibat proses pencucian (leaching) di dalam tanah. Dalam larutan tanah nitrogen berasal dari material organik yang melapuk dan mineralisasi, serta diserap dalam bentuk senyawa nitrat dan ammonium (NO_3^- dan NH_4^+) (Asril, Ningsih, Basuki, Asriyanti, & Septyani, 2023).

Menurut Mugni (2018) N yang dapat diserap oleh tanaman secara keseluruhan dapat diidentifikasi menggunakan N secara keseluruhan atau N-total. Nitrogen yang bersumber dari material organik baik secara simbiotik maupun nonsimbiotik dengan mikroorganisme tanah, dan dapat diperoleh melalui loncatan nitrogen pada petir saat hujan. Sumber nitrogen yang berasal dari bahan organik tadi dapat mengalami perombakan menjadi Nitrogen inorganik melalui beberapa tahapan agar terbentuk senyawa nitrat yang disebut proses mineralisasi. Nitrogen inorganik hasil mineralisasi hanya sebesar 1/3 bagian dari total N dari sumber bahan organik. (Wawan, 2018) dan (Septyani & Harahap, 2022) menunjukkan bahwa bahan organik yang telah terdekomposisi akan melepaskan karbon, hidrogen, nitrogen dan oksigen dalam bentuk senyawa organik lalu melepaskan karbondioksida dan molekul air serta energi.

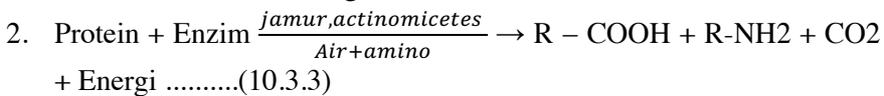
Dari proses inilah nitrogen dari bahan organik bisa mengalami perubahan menjadi nitrat.



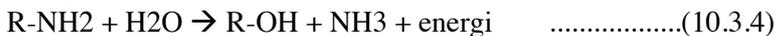
Protein bacillus, pseudomonas protoase Asam amino \rightarrow N-organik \rightarrow mineralisasi \rightarrow NO₃.....(10.3.2)

Dalam proses mineralisasi melibatkan tiga proses utama yaitu aminisasi, amonifikasi dan nitrifikasi, dalam ketiga proses utama ini membutuhkan sumber perombak yang menggunakan karbon sebagai sumber nutrisi untuk memperoleh energi seperti jamur, actinomicetes dan bakteri. (Hastuti, 2011).

1. Aminisasi. Aminisasi didefinisikan sebagai proses perubahan protein yang ada pada bahan organik menjadi asam amino, karboksilat, karbondioksida dan energi.

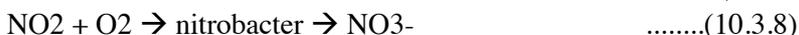


3. Amonifikasi. Amonifikasi didefinisikan sebagai perombakan amino menjadi ammonia merupakan dengan proses reduksi atau pengurangan ion pada amino. N-amino (R-NH₂) diubah ke amonia (NH₃) dan amonium (NH₄⁺). Menurut (Asril, Ningsih, Basuki, Asriyanti, & Septyani, 2023) bahwa amonifikasi dapat direaksikan sebagai berikut:



Berdasarkan reaksi 10.3.4 hingga 10.3.6 dapat dilihat bahwa proses amonifikasi dapat dilanjutkan menuju proses nitrifikasi dengan bantuan oksigen pada tanah.

4. Nitrifikasi. Nitrifikasi perombakan amonium menjadi nitrit dan nitrat akibat adanya oksigen dan proses oksidasi. Nitrifikasi terjadi dalam dua reaksi yaitu nitritasi atau perubahan ammonium menjadi nitrit dengan bantuan bakteri nitrosomonas, apabila tanah berada dalam kondisi aerobik maka nitrit langsung diubah menjadi nitrat oleh bantuan bakteri nitrobacter dengan reaksi sebagai berikut:



10.4 P-tersedia

Pospor adalah unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah lebih dari 500 ppm. Pada umumnya P berasal dari bahan mineral seperti batuan apatit, bahan organik dan tulang. Di dalam larutan tanah, P-tersedia berada dalam bentuk yang berbeda bergantung pada pH tanah. Pada kondisi masam ion fosfat didominasi oleh ion H_2PO_4^- , sedangkan pada pH alkalin ion fosfat dominan dalam bentuk HPO_4^{2-} dan PO_4^{3-} (Hasibuan & Syafriadiman, 2020).

Fosfor merupakan unsur hara yang mudah terjebak di dalam kompleks jerapan tanah dan bergantung pada keadaan pH tanah sehingga sulit tersedia bagi tanah dan tanaman. Istilah ini disebut sebagai penyempatan atau retensi fosfat. Pada pH masam fosfor akan dijerap oleh logam Al menjadi alumunium fosfat ($\text{Al}(\text{H}_2\text{PO}_4)_3$), dan pada pH basa fosfor akan dijerap oleh kation basa seperti Ca dan Mg.

10.4.1 Retensi Fosfat

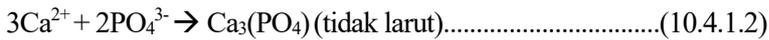
Pada tanah dengan reaksi tanah dengan pH yang rendah dan memiliki konsentrasi ion logam stabil seperti Al^{3+} , Fe^{3+} , dan Mn^{2+} terlarut dalam jumlah yang terukur. Fosfat yang terikat dalam keadaan ini relatif tersedia bagi tanaman dengan penambahan ameliorasi tertentu. Pada tanah masam, reaksi retensi fosfat sebagai berikut:



Produk yang dihasilkan dari reaksi 10.4.1.1. bahwa alumunium hidrofosfat merupakan produk dalam bentuk endapan dalam air. Hasil produk endapan ini dapat berkurang kelarutannya sehingga sedikit tersedia bagi pertumbuhan tanaman. Semakin masam suatu larutan tanah, maka semakin besar konsentrasi Al yang dapat larut sehingga semakin besar pula jumlah fosfor yang terikat. Fosfat hidroksi Al merupakan senyawa stabil pada kondisi masam.

Dalam meningkatkan ketersediaan P di tanah masam dapat di atasi dengan meningkatkan pH tanah diangka 6,5 untuk menurunkan kelarutan senyawa Al dan Fe. Hal ini dapat membuktikan bahwa pH 6,5 merupakan kondisi fosfat tersedia maksimum yang dapat dilarutkan dalam larutan tanah.

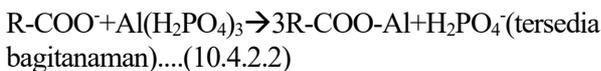
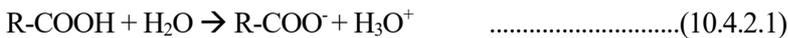
Retensi fosfat juga terjadi pada bereaksi alkalin yang mengandung Ca²⁺ terlarut dan bertukarkan dalam jumlah tinggi, dengan reaksi sebagai berikut:



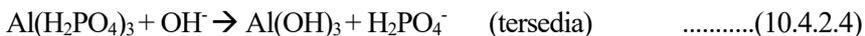
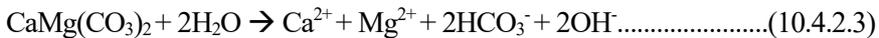
Tipe penyematan pada reaksi 10.4.1.2 bahwa P tidak tersedia bagi pertumbuhan tanaman dan harus diberikan penambahan ion pesaing berupa anion. Anion organik dari pupuk kandang dan silikat dapat direkomendasikan untuk meningkatkan ketersediaan P ini.

10.4.2 Reaksi Peningkatan P-tersedia

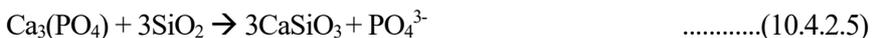
Fosfat yang terjerap bersama ion Al, Fe dan Ca dapat relatif tersedia kembali dengan penambahan anion lainnya yang mampu menggantikan pospat di dalam P yang teretensi. Salah satu bahan yang dapat digunakan untuk meningkatkan ketersediaan P pada tanah adalah penamabahan bahan organik yang mengandung asam organik (Yuniarti, Solihin, & Putri, 2020). Asam organik pada bahan organik dapat melakukan proses kelatisasi dengan reaksi sebagai berikut:



Pada tanah masam juga dapat digunakan kapur untuk mengendapkan Al membentuk alumunium hidroksida sehingga melepaskan fosfat tersedia bagi tanaman dengan reaksi sebagai berikut:



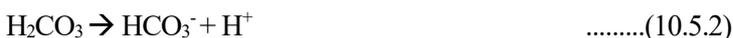
Sementara itu, pada tanah alkalin dapat diberikan kation bervalensi lebih tinggi daripada Ca untuk mensubstitusi endapan kalsium hidrofosfat dengan reaksi sebagai berikut:



Unsur silika merupakan unsur hara sekunder yang dapat diperoleh dari bahan organik, bahan mineral primer dan pupuk sintetis. Jika digunakan sebagai unsur pelengkap, Si dapat diperoleh dari limbah yang berasal dari bahan mineral seperti limbah abu batubara, limbah pabrik baja, silika yang mengandung kalium, kalsium dan magnesium. (Yuniarti, Solihin, & Putri, 2020).

10.5 Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Koloid liat didominasi oleh muatan negatif dan kation tertarik oleh partikel liat. Kation tersebut diikat secara elektrostatis pada permukaan liat. Ion yang bermuatan positif yang dijerap dapat dipertukarkan dengan ion lainnya atau yang disebut kapasitas tukar kation (KTK). Kapasitas tukar kation memiliki peran yang besar dalam menentukan tingkat ketersediaan hara, tingkat kesuburan tanah dan efektivitas pemupukan. Ion positif yang dijerap biasanya akan bertukar dengan kation bervalensi satu, proses ini biasanya dihasilkan dari proses respirasi akar yang melepaskan asam karbonat dan hidrogen dengan reaksi sebagai berikut:



Kapasitas penukaran kation (KTK) merupakan kapasitas tanah untuk menjerap dan mempertukarkan kation. KTK biasanya dinyatakan dalam satuan miliekuivalen per 100 gram tanah atau me/100 g, cmol per kg tanah (cmol/kg). Hal ini mengindikasikan bahwa setiap 1 me/100 g mengandung $6,02 \times 10^{20}$ muatan negatif (Hardjowigeno, 2015). Dari 1 ekuivalen dapat dikonversi menjadi ppm (part per million) misal:

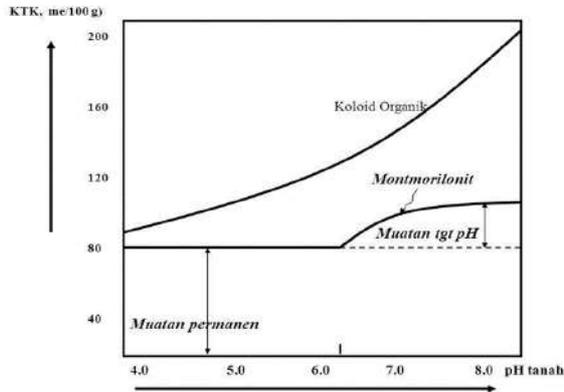
$$1 \text{ me H} \quad = 39 \text{ mg (berat atom H = 39, valensi = 1)}$$

$$1 \text{ me Ca} \quad = 20 \text{ mg (berat atom Ca = 40, valensi = 2)}$$

$$\begin{aligned} \text{Ca} = 20 \text{ me/100g} &= 20 \times 40/2 \text{ mg} / 100 \text{ g} \\ &= 400 \text{ mg/100 g} \\ &= 400 \text{ mg/100.000 mg (x10)} \\ &= 4000 \text{ mg/1.000.000 mg} \\ &= 4000 \text{ ppm.} \end{aligned}$$

Pada umumnya kapasitas tukar kation dapat berpengaruh terhadap reaksi tanah terutama pH, sifat fisika tanah berupa tekstur, bahan organik dan jenis mineral liat yang ada pada koloid tanah tersebut. Kapasitas tukar kation terbagi menjadi dua yaitu muatan permanen dan muatan tergantung pH. Oleh sebab itu, untuk menentukan nilai KTK perlu diketahui pH tanah terlebih dahulu. Muatan permanen dan tergantung pH disajikan pada Gambar 10.5.

Pada muatan permanen (permanent charge) biasanya terjadi pada pH 4-5. Tanah dengan pH demikian biasanya didominasi oleh mineral liat tipe 1:1 atau kaolinit, di mana hanya terdiri dari satu lapisan Si- Al dan lapisan interlayer dipenuhi oleh hidrogen sehingga sulit mempertukarkan kation. Penambahan ameliorasi pada tanah dengan mineral liat tipe 1:1 akan mampu meningkatkan pH tanah dan KTK, peningkatan KTK pada kondisi ini disebut sebagai muatan tergantung pH. Pada mineral liat tipe 2:1 atau montmorilonit biasanya memiliki KTK lebih tinggi dibanding dengan kaolinit, dan koloid organik memiliki kapasitas kation paling tinggi.



Gambar 10.3: Grafik Hubungan pH dengan KTK Tanah

10.5.1 KTK dan KTK Efektif

Besaran kapasitas penukaran kation dapat diuji menggunakan larutan berdasarkan pH tanah, apabila pH tanah <4 maka menggunakan Ammonium Asetat pH 4, namun apabila pH tanah di atas 5 dan 7 dapat menggunakan Ammonium asetat pH 7 dengan asumsi jika pH kurang dari 7 maka akan terbaca lebih besar daripada KTK sebenarnya, begitu juga sebaliknya. Prinsip kerja analisis KTK adalah tanah diekstrak menggunakan larutan Ammonium

asetat dan kalium klorida 1 N, apabila menggunakan KCl maka hasil cucian (lechatte) tanah akan mengandung ion H^+ dan Al^{3+} dan basa-basa yang dapat ditukar. Namun, menggunakan Ammonium asetat dapat mencuci basa Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ dan K^+ . Penggunaan larutan KCl 1 N dapat memperoleh pertukaran kation yang berasal dari muatan permanen dalam liat tanah dijadikan sebagai KTK efektif. KTK Efektif juga dapat dirumuskan sebagai berikut (Salam, 2020)

$$KTK \text{ Efektif} = Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+ + K^+ + H^+ + Al^{3+} \quad \dots\dots(10.5.1.1)$$

Selain itu, apabila tanah sebelumnya diekstrak lagi menggunakan Barium klorida maka KTK berasal dari patahan pinggiran kristal liat dan gugus karboksil dari bahan organik yang mengalami disosiasi H^+ akibat kenaikan pH larutan yaitu 8,2 atau yang disebut dengan KTK berasal dari muatan tergantung pH atau KTK total dari tanah.

10.5.2 Nilai KTK pada Koloid Utama

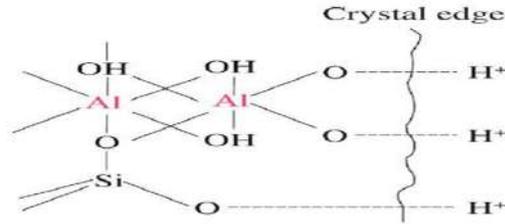
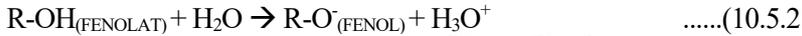
Secara umum KTK koloid utama memiliki nilai yang berbeda-beda. Humus memiliki KTK yang lebih tinggi jika dibanding dengan mineral liat pada tanah. Besaran KTK pada koloid utama dapat dilihat pada Tabel 10.1 sebagai berikut.

Berdasarkan Tabel 10.2 dapat dilihat bahwa tanah dengan kandungan bahan organik dan kadar liat yang tinggi memiliki KTK lebih tinggi jika dibanding dengan tanah berpasir. Humus dapat memperoleh KTK tinggi disebabkan oleh adanya disosiasi H^+ pada gugus karboksil dan fenol sehingga mampu menambah muatan negatif pada koloid organik ini.

Tabel 10.2.: Nilai KTK Tanah Berdasarkan Jenis Koloid Tanah

Koloid Tanah	KTK (me/100 g)
Humus	200
Vermikulit	100-150
Mineral Tipe 2:1 (Montmorilonit)	70-95
Mineral Tipe 2:1 Illit	10-40
Mineral tipe 1:1 (kaolinit, haloisit)	3-15
Mineral oksida Fe dan Al (Seskuidoksida)	2-4

Sumber: (Tan, 1998)



Gambar 10.4: Lapisan Interlayer Pada Mineral Kaolinit

Jenis mineral liat juga memengaruhi KTK tanah, di mana montmorilonit memiliki KTK lebih tinggi dibanding dengan kaolinit. Hal ini dikarenakan kaolinit memiliki lapisan interlayer yang didominasi oleh H sehingga sulit mempertukarkan kation. Pada kaolinit substitusi isomorfik tidak ada sehingga muatan negatif atau kapasitas tukar kation rendah. Muatan negatif hanya bergantung pada disosiasi H bila pH meningkat. Sementara pada montmorilonit terdiri dari 2 lapisan Si dan 1 Al yang memiliki kemampuan mengembang dan mengempis akibat ikatan lemah antar oksigen sehingga mudah mempertukarkan kation. Beberapa penelitian membuktikan bahwa beberapa jenis tanah memengaruhi nilai KTK.

Tabel 10.3: Perbedaan nilai KTK pada Tanah

Jenis Sampel Tanah	KTK (me/100 g)	Sumber
Ultisol	6,31	(Septyani, Yasin, & Gusmini, 2019)
Ultisol (bahan organik)	17,17	(Septyani, Yasin, & Gusmini, 2020)
Ultisol (penambahan kapur)	10,74	(Septyani, Yasin, & Gusmini, 2020)
Entisol	5,27	(Fitri, Gusnidar, & Juniarti, 2020)
Entisol (bahan organik)	15,87	(Fitri, Gusnidar, & Juniarti, 2020)

Berdasarkan Tabel 10.3. dapat dilihat bahwa penambahan bahan organik mampu meningkatkan KTK tanah namun tidak terlalu signifikan, karena KTK tersebut berada pada kondisi tergantung pH, sehingga apabila pH tanah ditingkatkan dengan pemberian bahan organik maka tanah KTK meningkat.

10.6 Basa – basa Dapat Ditukar

Basa pada tanah berasal dari logam alkali tanah yang diserap tanaman dengan bentuk kation bebas. Kation berada di kompleks jerapan tanah dipertukarkan dengan larutan ammonium asetat dan KCl 1 N. Nilai basa-basa ini berpotensi sebagai kandungan unsur hara yang dapat diserap tanaman dan dapat mendukung kesuburan tanah.

10.6.1 Kalsium dapat Ditukar (Ca-dd)

Kalsium atau Ca merupakan unsur hara makro esensial yang diserap tanaman dalam bentuk ion Ca^{2+} . Kalsium secara umum diperoleh pada bahan induk atau mineral primer plagioklas, batuan yang mengandung karbonat seperti dolomit, gips $MgSO_4$ atau gipsum, kalsit dan kalsium fosfat.

10.6.2 Magnesium dapat Ditukar (Mg-dd)

Magnesium atau Mg merupakan nutrisi tanaman yang dibutuhkan dalam proses metabolisme, fotosintesis dan diserap dalam bentuk kation Mg^{2+} . Magnesium berasal dari batuan dan mineral terutama dolomit, magnesium sulfat, mineral dari batuan biotit, augit, hornblende dan amfibol.

10.6.3 Kalium dapat Ditukar (K-dd)

Kalium merupakan unsur hara makro yang bersifat monovalen dan dapat diserap tanaman dalam bentuk K^+ . K secara garis besar diperoleh dari batuan primer mika dan feldspar serta berasal dari pupuk buatan. K adalah unsur yang banyak di dalam tanah namun sedikit dapat diserap tanaman, larut dalam air dan dapat dipertukarkan. Hal ini dikarenakan K berasal dari batuan primer utama yang mengandung mika dan feldspar sebesar 90% namun tidak tersedia. Hanya 1-2% K yang mampu disediakan dalam tanah dalam bentuk kation terjerap dan dipertukarkan dalam koloid liat dan humus (Hardjowigeno, 2015)

10.7 Kejenuhan Basa dan Kemasaman dapat ditukar (KB dan Kemasaman-dd)

Ion positif pada koloid tanah secara umum terdiri dari dua bentuk yaitu kation yang bersifat asam dan kation yang bersifat basa. Apabila kation didominasi oleh kation asam maka dapat menurunkan kesuburan tanah, karena bentuknya stabil seperti Al^{3+} dan H^+ dan mudah mengikat unsur hara lain sehingga dapat bersifat meracun bagi pertumbuhan tanaman. Sebaliknya, apabila tanah didominasi oleh kation negatif maka dapat meningkatkan kesuburan tanah seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} dan K^+ .

10.7.1 Kemasaman dapat Ditukar

Sumber kemasaman di dalam tanah dapat berasal dari aluminium dan hidrogen. Aluminium dapat dijadikan sebagai sumber kemasaman tanah. Kemasaman dapat ditukar merupakan parameter penting dalam menentukan rekomendasi pemberian kapur pertanian khususnya di lahan marginal dengan pH rendah. Pada penentuan kemasaman dapat ditukar dapat menggunakan pelarut KCl 1 N kemudian hasil filtrat tersebut mengandung Al dan H yang diidentifikasi melalui proses penalaran menggunakan NaOH. Hasil titaran yang disebut sebagai kemasaman dapat ditukar. Kemasaman dapat ditukar dapat dilanjutkan dengan mengidentifikasi dengan proses penitaran kembali menggunakan HCl dan diperoleh Aluminium yang dapat ditukar (Al-dd). Aluminium mengindikasikan unsur yang bersifat racun bagi pertumbuhan tanaman, meningkatkan kemasaman tanah dan mengurangi ketersediaan P. Semakin tinggi nilai kejenuhan Al maka semakin besar kebutuhan ameliorasi yang dibutuhkan untuk meningkatkan pH tanah. Nilai kejenuhan Al dapat diperoleh dari perbandingan antara Al-dd dengan KTK efektif. Nilai toleransi kejenuhan Al dan Al-dd untuk rekomendasi pengapuran dapat disajikan pada Tabel 10.4

Tabel 10.4: Nilai Kejenuhan Aluminium dan Aluminium dapat ditukar untuk Kebutuhan Tanaman (Hardjowigeno, 2015)

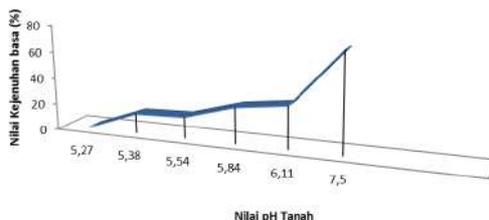
Jenis Tanaman	Batas Kejenuhan Al (%)	Al-dd
Padi	60	1 x Al-dd
Jagung	40	1,5 x Al-dd
Kedelai	20	2 x Al-dd

10.7.2 Kejenuhan Basa

Kejenuhan basa (KB) didefinisikan sebagai rasio kation yang bersifat basa dengan kation total pada kompleks jerapan dan dinyatakan dalam bentuk persen. Jumlah maksimum kation yang dijerap menunjukkan nilai besaran nilai kapasitas tukar kation pada tanah. Kation-kation basa pada umumnya merupakan ion bebas yang diperlukan dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan sifatnya cenderung mobil atau mudah tercuci bersama air perkolasi. Nilai kejenuhan basa dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Kejenuhan basa (\%)} = (\text{Ca-dd} + \text{Mg-dd} + \text{K-dd} + \text{Na-dd}) / (\text{KTK total}) \times 100\%$$

Nilai persentase kejenuhan basa biasanya berbanding lurus dengan reaksi tanah. Tanah yang bereaksi masam biasanya memiliki KB di bawah 35% dan terjadi pada Ultisol yang berada di iklim tropik dengan curah hujan tinggi dan temperatur tinggi. Kondisi ini mendukung terjadinya proses pencucian (leaching) kation mobil seperti Ca, Mg dan K. Namun, sebaliknya pada tanah bereaksi basa atau alkali diperoleh kejenuhan basa yang tinggi. Hal ini dikarenakan kation tidak berpotensi tercuci secara intensif. Tanah dengan kejenuhan basa yang rendah, mengindikasikan bahwa kompleks jerapan tanah didominasi oleh kation asam Al^{3+} dan H^+ .



Gambar 10.5: Grafik Hubungan pH tanah dengan Kejenuhan Basa (Septyani, Yasin, & Gusmini, 2020)

Berdasarkan Grafik 10.5 dapat dilihat bahwa hubungan positif antara kejenuhan basa dan pH dapat dikatakan bahwa tanah dengan pH tinggi didominasi oleh kation basa, biasanya berada di tanah arid atau tanah yang diberikan ameliorasi untuk meningkatkan pH tanah. Kejenuhan basa yang tinggi berkaitan dengan pelepasan kation dalam larutan tanah. Semakin tinggi

kejenuhannya maka semakin mudah kation tersedia bagi tanaman (Utomo, Sabrina, Sudarsono, Lumbanraja, Rusma, & Wawan, 2016).

10.8 Koloid Tanah

Koloid tanah merupakan material organik dan bahan induk yang berasal dari mineral dengan ukuran sangat halus dan memiliki luas permukaan yang tinggi tiap satuan berat. Koloid berukuran $<2\mu\text{m}$ dan merupakan bagian tanah yang sangat aktif dalam reaksi fisikokimia. Partikel pada koloid yang berukuran sangat halus disebut mikro sel atau misel yang bermuatan negatif dan dapat menarik ion positif sehingga membentuk lapisan ion berganda atau ionic double layer.

10.8.1 Mineral Liat

Mineral liat adalah mineral yang terbentuk karena proses sintesis senyawa hasil pelapukan mineral dan alterasi atau perubahan langsung dari mineral primer ke sekunder contohnya mineral primer mika yang mengandung K dirombak secara fisika dan kimia menjadi ilit. Berdasarkan bentuknya mineral liat terdiri dari Al-Silikat, oksida Al dan Fe dan mineral primer (Hardjowigeno, 2015)

Mineral primer (pasir dan debu) $\xrightarrow[\text{sintesis}]{\text{alterasi}}$ mineral sekunder (liat).....(10.9.1)

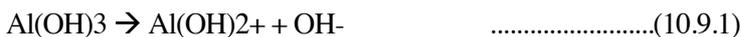
Mineral liat Al-Si. Mineral Al-Si terdiri dari kristalin dan amorf. Mineral kristalin biasanya membentuk tiga dimensi dengan sumbu x y dan z seperti kaolinit dan haloisit (Tipe mineral 1:1 atau 1 lapisan Al-oktahedron dan 1 lapisan Si-tetrahedron) yang dijumpai pada tanah berwarna merah kekuningan atau Ultisol dengan drainase baik serta montmorilonit dan illit (Tipe mineral 2:1 atau 2 lapisan Al-oktahedron dan 1 lapisan Si-tetrahedron) yang dijumpai pada tanah beriklim kering karena mineral mika belum mengalami pelapukan lanjut seperti Vertisol. Sementara itu, mineral liat yang berbentuk amorf adalah alofan yang banyak ditemukan akibat aktivitas gunung berapi seperti Andisol. Sementara itu, tanah tua akan membentuk mineral Al-Silikat yang sudah hancur dan didominasi oleh oksida Al dan Fe yang disebut seskuidoksida (Yan, Lazouskaya, & Jin, 2016)

Pada mineral liat Al-Silikat memiliki sumber muatan negatif yang berasal dari:

1. Kelebihan muatan negatif pada ujung patahan Al dan Si
2. Disosiasi H^+ dari gugus OH yang terdapat pada pinggiran kristal. Apabila pH asam maka ion H terikat dengan O, namun apabila pH ditingkatkan maka H akan terlepas dan disebut muatan tergantung pH
3. Substitusi isomorfik atau penggantian kation dalam kristal oleh kation lain yang mempunyai ukuran yang sama namun valensi yang berbeda. Misalnya Mg^{2+} dan Fe^{3+} dapat menggantikan Al^{3+} dalam Al-oktahedron, atau Al^{3+} menggantikan Si-tetrahedron, sehingga akan terjadi kelebihan muatan negatif pada liat.

Mineral Liat Silikat Amorf. Mineral yang berasal dari pelapukan gelas volkan atau mineral feldspar ini mempunyai kapasitas tukar kation tinggi namun mampu memfiksasi P dengan kuat.

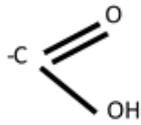
Oksida Fe dan Al. Mineral ini dijumpai pada tanah tua seperti Oxisol dengan mineral gibsit ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$), hematit (Fe_2O_3) dan limonit ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$). Mineral ini memiliki KTK yang rendah dan mampu memfiksasi P dengan kuat melalui pertukaran anion karena pada mineral oksida Fe dan Al didominasi oleh muatan positif.



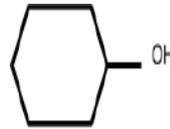
10.8.2 Koloid Organik

Koloid organik pada tanah adalah humus. Koloid humus berbeda dengan mineral liat karena hanya terdiri dari unsur C, H, dan O serta bersifat amorf dan juga memiliki nilai kapasitas tukar kation lebih tinggi daripada mineral liat montmorilonit. Humus memiliki sumber muatan negatif yang berasal dari gugus karboksil dan fenol (Goldberg et al.,

Humus juga memiliki muatan tergantung pH. Apabila tanah bersuasana asam maka hidrogen akan diikat kuat oleh gugusan karboksil, dan akan berkurang ikatannya apabila telah terjadi kenaikan pH. Akibatnya disosiasi H^+ meningkat dan muatan negatif pada koloid humus juga meningkat



Gugus Karboksilat



Gugus Fenolat

Gambar 10.6: Koloid Organik

Bab 11

Sifat Biologi Tanah

11.1 Pendahuluan

Seperti yang telah kita ketahui, tanah merupakan bagian kerak bumi yang tersusun dari berbagai mineral dan bahan organik. Tanah memiliki berbagai fungsi seperti sebagai tempat tanaman hidup, sebagai penyedia unsur hara, dan sebagai keberlangsungan hidup organisme. Organisme tanah merupakan makhluk hidup yang memengaruhi kesuburan tanah. Tanah merupakan habitat yang menguntungkan bagi mikroorganisme dan dihuni oleh berbagai macam mikroorganisme, termasuk bakteri, jamur, alga, virus, dan protozoa. Struktur fisik, aerasi, daya ikat air, dan ketersediaan unsur hara ditentukan oleh mineral penyusun tanah, yang terbentuk akibat pelapukan batuan dan aktivitas metabolisme mikroorganisme tanah.

11.2 Tanah sebagai Tempat Hidup Mikroorganisme

Tanah merupakan suatu sistem yang terletak antara atmosfer, litosfer, hidrosfer dan biosfer dalam mendukung keberlanjutan terhadap layanan sosial dan

ekosistem. Tujuan pengelolaan tanah diselaraskan dengan tujuan keberlanjutan yang harus memberikan landasan dalam mempertimbangkan sejumlah besar pemangku kepentingan, fungsi, dan skala spasial maupun temporal. Peran jasa dari ekosistem tanah adalah produksi tanaman yang berkelanjutan dengan tujuan adalah pertanian intensif, kualitas tanah, kesehatan manusia, dan perubahan iklim (Asril, Ningsih, et al., 2023).

Tanah pada umumnya mempunyai struktur horizontal dan vertikal. Di dasar setiap profil tanah terdapat batuan dasar, atau bahan induk, yang merupakan jenis formasi geologi yang menjadi dasar terbentuknya tanah di atasnya. Horizon C ini merupakan horizon yang paling sedikit mengalami pelapukan di antara horizon-horizon yang dapat diidentifikasi, mengakumulasi kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) karbonat yang dilepaskan dari horizon-horizon di atasnya. Aktivitas mikroba pada horizon C ini biasanya sangat rendah, sebagian karena keterbatasan oksigen (O₂) dan bahan organik. Di atas horizon C terdapat horizon B yang biasanya masih memiliki kandungan bahan organik yang agak rendah, horizon B mendukung populasi mikroba yang relatif kecil dan memiliki sedikit aktivitas biologis. horizon B adalah zona iluviasi maksimum, yaitu pengendapan atau akumulasi lempung silikat dan oksida besi (Fe) dan aluminium (Al) (Thies dan Grossman, 2006).

Mikrobiologi tanah adalah ilmu yang mempelajari organisme di dalam tanah, fungsinya, dan pengaruhnya terhadap sifat-sifat tanah. Dipercaya bahwa bakteri dan mikroorganisme purba pertama kali muncul di lautan bumi sekitar 2–4 miliar tahun yang lalu. Bakteri ini mampu memfiksasi N₂, memperbanyak diri dan sebagai hasilnya melepaskan oksigen ke atmosfer. Penguraian bahan organik oleh organisme tanah mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap kesuburan tanah, pertumbuhan tanaman, struktur tanah, dan penyimpanan C. Tanah merupakan rumah bagi sebagian besar keanekaragaman hayati dunia. Nutrisi sangat penting dan secara langsung memengaruhi pertumbuhan, hasil dan kualitas tanaman. Mikroorganisme tanah dapat menyediakan unsur hara bagi tanaman melalui fiksasi N₂ di atmosfer dan atau dengan meningkatkan mobilisasi/penyerapan unsur hara melalui aktivitas biologis. (Sachidanand et al., 2019).

11.2.1 Klasifikasi Biota Tanah

Organisme tanah merupakan komponen organik hidup dalam tanah yang dikategorikan menjadi dua kelompok utama yaitu flora dan fauna tanah. Hewan-hewan ini dibagi lagi menjadi beberapa sub kelompok tergantung pada

ukurannya, makro-flora dan mikro-flora tanah, serta makrofauna dan mikrofauna tanah. Organisme tanah dapat diklasifikasikan berdasarkan ukurannya (Tabel 11.1). Ukuran organisme tanah berkisar dari $1\mu\text{m}$ - 20mm . Semua organisme membutuhkan C organik untuk membangun selnya. Kemoheterotrof memperoleh C organik dari organisme yang mengubah karbon dioksida (CO_2) menjadi senyawa organik dengan energi cahaya (fotoautotrof) atau energi kimia (kemoautotrof). Fotoheterotrof memanfaatkan energi cahaya dan juga memanfaatkan C organik. Organisme dapat diklasifikasikan berdasarkan energi dan sumber C yang digunakan (Tabel 11.2) (Sachidanand et al., 2019).

Tabel 11.1: Klasifikasi Organisme Tanah

Klasifikasi	Lebar	Contoh
Mikroflora	$<10\ \mu\text{m}$	Bakteri dan Jamur
Mikrofauna	$<100\ \mu\text{m}$	Protozoa dan Nematoda
Mesofauna	$100\ \mu\text{m}$ - $2\ \text{mm}$	Enchytraeids, dan Collembola
Makrofauna	$2\ \text{mm}$ - 20mm	Cacing tanah, Kaki seribu, Kutu Kayu, Siput

Catatan: Ukuran partikel tanah liat $<2\ \mu\text{m}$

Tabel 11.2: Pengelompokan Organisme Menurut Sumber Energi dan C.

Sumber Energi	Sumber Karbon	
	Autotrof (memperbaiki CO_2)	Heterotrof (Memanfaatkan C Organik)
Cahaya (Foto-)	Fotoautotrof	Fotoheterotrof
Kimia (Kemo-)	Kemoautotrof	Kemoheterotrof

Dari semua organisme di dalam tanah, hanya sejumlah kecil bakteri, jamur, serangga, dan nematoda yang dapat membahayakan tanaman. Populasi organisme tanah yang beragam dapat memelihara sistem checks and balances yang dapat mencegah organisme penyakit atau parasit. Beberapa jamur membunuh nematoda dan yang lainnya membunuh serangga, namun yang lain menghasilkan antibiotik yang membunuh bakteri. Protozoa memakan bakteri dan mungkin menyerang jamur. Beberapa bakteri membunuh serangga berbahaya. Banyak protozoa dan tungau memakan jamur dan bakteri penyebab penyakit. Mikroorganisme yang bermanfaat, seperti jamur *Trichoderma* dan bakteri *Pseudomonas (P.) fluorescens*, mengkolonisasi akar tanaman dan melindunginya dari serangan organisme berbahaya. Beberapa organisme ini,

yang diisolasi dari tanah, kini dijual secara komersial sebagai agen pengendali hayati. Pengaruh bakteri dan jamur yang menekan organisme penyakit tanaman diduga timbul dari persaingan memperebutkan unsur hara, produksi zat antagonis, dan/atau parasitisme langsung. Selain itu, sejumlah organisme tanah yang bermanfaat menginduksi sistem kekebalan tanaman (Sachidanand et al., 2019).

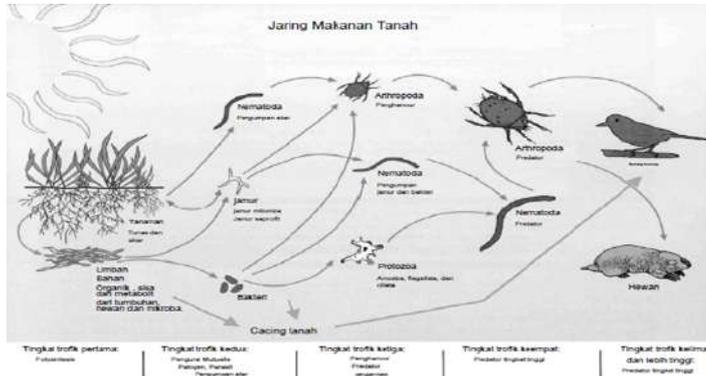
Tabel 11.3: Hubungan Antara Fungsi Tanah Dan Jasa Ekologi (Sachidanand et al., 2019)

Fungsi Tanah	Pelayanan Ekologis	Contoh Biota Tanah yang Berkaitan
Produksi pangan dan serat	Siklus C	Biomassa mikroba, metanogen
	Penguraian bahan organik	Mikroartropoda, jamur saprotrofik
	Siklus N	Nitrifier, denitrifier
	Siklus P	Fosfatase, mikoriza
	N fiksasi	Rhizobia
	Aktivitas primer (mikroba)	Struktur dan aktivitas komunitas mikroba
	Perpindahan jaring makanan di tanah	Komunitas mikroba dan struktur jaring makanan
	Penularan penyakit dan hama	Predator, patogen
	Pasokan nutrisi dari simbiosis	Mikoriza, pemecah N
	Bio-agregasi tanah	Jamur, cacing
Interaksi lingkungan	Degradasi/imobilisasi polutan	Jamur, cacing
	C retensi/pelepasan	Biomassa mikroba, metanogen
	N retensi/pelepasan	Nitrifier, denitrifier
	Retensi/pelepasan P	Aktivitas mikroba, mikoriza
	S retensi/pelepasan	bakteri pereduksi S
	Toleransi/resistensi (racun)	Struktur dan aktivitas komunitas tanah
	Redistribusi dengan bioturbasi	Cacing tanah, semut
	Bioagregasi tanah	Jamur, cacing
Mendukung habitat ekologis dan keanekaragaman hayati	Waduk untuk keanekaragaman hayati tanah (fungsional)	Nitrifier, struktur trofik, cacing
	Zona perkecambah tanaman	Akar tanaman, mikoriza

	Pasokan nutrisi dari simbiosis	Mikoriza
	Sumber makanan (di atas tanah)	Jamur, serangga
	Waduk untuk keanekaragaman hayati tanah (taksonomi)	Spesies dan keanekaragaman tanah
	Waduk untuk keanekaragaman hayati tanah (genetik)	DNA dan RNA komunitas

11.2.2 Klasifikasi Organisme dalam Jaring Makanan

Klasifikasi dalam istilah ekologi menjadi produsen (tumbuhan, alga, dan bakteri autotrofik) atau konsumen (herbivora, predator, dan pengurai). Produsen utama, paling sering berupa tanaman di ekosistem darat, merupakan basisnya rantai makanan. Produsen primer menangkap energi dari sinar matahari melalui proses fotosintesis. Energi yang ditangkap kemudian disimpan dalam ikatan kimia yang dapat menyediakan energi bagi sebagian besar organisme lain dalam jaring makanan. Interaksi trofik (makan) bisa jadi sangat kompleks, terutama di bawah tanah. Produsen primer, umumnya tumbuhan, dikonsumsi oleh herbivora yang merupakan konsumen utama. Herbivora pada gilirannya dikonsumsi oleh predator, yang dianggap sebagai konsumen sekunder dalam sistem. Predator kemudian dikonsumsi oleh predator tingkat tinggi, yaitu konsumen tersier dalam sistem dan seterusnya. Dalam sistem di atas tanah, biomassa terbesar akan dihasilkan oleh produsen utama. Ketika seseorang berpindah ke tingkat trofik yang lebih tinggi dalam jaring makanan, baik biomassa maupun jumlah organisme yang dapat ditopang akan menurun. Hal ini mengarah pada konsep piramida biomassa atau piramida energi. Jaring-jaring makanan tentu saja mempunyai jumlah tingkat trofik yang terbatas karena total energi yang tersedia untuk kerja metabolisme pada tingkat yang lebih tinggi secara berturut-turut dibuang sebagai panas (Thies dan Grossman, 2006).



Gambar 11.1: Jaring Makanan Tanah Yang Disederhanakan Yang Menekankan Hubungan Trofik (Makan) Dan Peran Fungsional Biota Tanah (SWCS 2000)

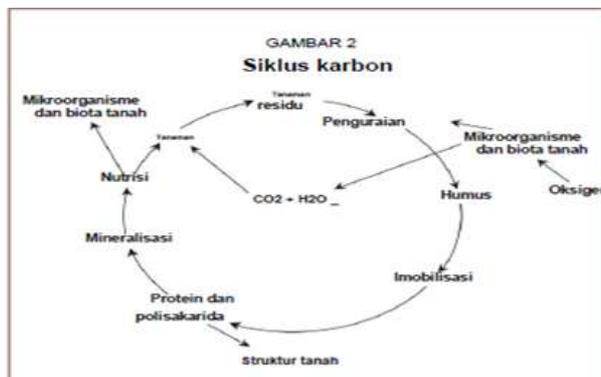
11.3 Peranan Bahan Organik dan Humus

Humus merupakan hasil penguraian bahan organik baik dari tumbuhan maupun hewan, maka sebagian bahan tersebut terurai dan menjadi stabil secara kimia. Di dalam tanah, mikroorganisme bekerja pada sisa-sisa tumbuhan dan hewan yang mati, dan menguraikannya menjadi senyawa organik yang lebih sederhana. Produk penguraian mikroba ini adalah humus, yang merupakan zat amorf berwarna gelap, terdiri dari sisa bahan organik yang tidak mudah terurai. Ketika karbon detrital (karbon dari sisa tumbuhan, mikroba dan hewan) diproses oleh organisme pengurai (kebanyakan mikroba) di dalam tanah. Karbon tersebut akan hilang sebagai karbondioksida, dimasukkan ke dalam sel organisme pengurai, atau memasuki sumber karbon yang relatif stabil karena adanya perlindungan fisik dari serangan pengurai atau perlindungan kimia. Serasah merupakan sumber utama humus di tanah hutan (jika tidak ada tutupan rumput), dan bahan organik masuk ke lapisan tanah dalam bentuk lindi dari serasah. Jumlah humus yang dibentuk oleh spesies kayu lebih sedikit dibandingkan dengan vegetasi rumput, karena akar spesies kayu tebal dan berumur panjang. Kondisi mikro meteorologi lokal dianggap sebagai prediktor yang baik untuk laju dekomposisi dan terdapat

hubungan yang baik antara suhu atau evapotranspirasi aktual dan laju dekomposisi serasah. Temperatur berbanding lurus dengan laju humifikasi hingga batas tertentu seiring dengan peningkatan temperatur yang meningkatkan lajunya. Aerasi yang baik dan kadar air dalam tanah juga merangsang proses humifikasi (Prusty dan Azeez, 2005).

Penambahan sisa tanaman yang membusuk secara terus menerus ke permukaan tanah berkontribusi terhadap aktivitas biologis dan proses siklus karbon di dalam tanah. Penguraian bahan organik tanah serta pertumbuhan dan pembusukan akar juga berkontribusi terhadap proses ini. Siklus karbon adalah transformasi berkelanjutan senyawa karbon organik dan anorganik oleh tanaman dan mikro dan makroorganisme antara tanah, tanaman dan atmosfer. Penguraian bahan organik sebagian besar merupakan proses biologis yang terjadi secara alami. Kecepatannya ditentukan oleh tiga faktor utama: organisme tanah, lingkungan fisik dan kualitas bahan organik (Brussaard, 1994).

Dalam proses dekomposisi, berbagai produk dilepaskan: karbon dioksida (CO_2), energi, air, nutrisi tanaman, dan senyawa karbon organik yang disintesis ulang. Dekomposisi bahan mati dan bahan organik termodifikasi secara berturut-turut menghasilkan pembentukan bahan organik yang lebih kompleks yang disebut humus (Juma, 1998). Proses ini disebut humifikasi. Humus memengaruhi sifat-sifat tanah. Saat terurai perlahan, warna tanah menjadi lebih gelap; meningkatkan agregasi tanah dan stabilitas agregat; meningkatkan KTK (kemampuan untuk menarik dan mempertahankan nutrisi); dan menyumbang N, P dan nutrisi lainnya (Bot dan Benites, 2005).



Gambar 11.2.: Siklus Karbon

Menurut (Kamsurya dan Botanri, 2022) perbaikan sifat-sifat tanah seperti kesuburan tanah dapat meningkatkan bahan organik tanah, sehingga dapat meningkatkan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kemunduran produktivitas pertanian dapat terjadi jika kandungan bahan organik tidak dapat dipertahankan. Hasil penelitian (Sismiyanti, Hermansah dan Yulnafatmawita, 2018) menyebutkan bahwa memaksimalkan peran bahan organik dapat dimaksimalkan dengan mendekomposisi bahan organik menjadi biochar. Biochar dari tandan kosong kelapa sawit, jerami, dan sekam padi merupakan bahan organik yang berkualitas rendah. Menurut (Paulina dan Lumbantoruan, 2022) peubah tinggi tanaman dan bobot tongkol tanaman berpengaruh tidak nyata terhadap pemberian biochar dan mikoriza pada tanaman jagung manis.

11.4 Daerah Perakaran dan Rizosfer

Rizosfer adalah zona tanah di sekitar akar tanaman di mana aktivitas biologi dan kimia tanah dipengaruhi oleh akar. Zona rizosfer ini lebarnya sekitar 1 mm, namun tidak memiliki tepi yang jelas. Saat akar tanaman tumbuh melalui tanah, senyawa yang dilepaskan dan larut dalam air seperti asam amino, gula, dan asam organik yang menyediakan makanan bagi mikroorganisme. Persediaan makanan berarti aktivitas mikrobiologi di rizosfer jauh lebih besar dibandingkan di tanah yang jauh dari akar tanaman. Sebagai imbalan nya, mikroorganisme menyediakan nutrisi bagi tanaman. Sel-sel akar terus-menerus diserang oleh mikroorganisme dan bertahan hidup dengan mengeluarkan protein pertahanan dan bahan kimia antimikroba lainnya yang belum diketahui. Eksudat di rizosfer bervariasi sesuai dengan tahap pertumbuhan tanaman. Adapun beberapa fungsi eksudat yaitu mempertahankan rizosfer dan akar dari mikroorganisme patogen, menarik dan mengusir spesies dan populasi mikroba tertentu, dan menjaga agar tanah di sekitar akar tetap lembab, mendapatkan nutrisi, mengubah sifat kimia tanah di sekitar akar, dan menstabilkan agregat tanah di sekitar akar (Kelly, 2005).

Akar memberikan tekanan yang sangat besar ($>7\text{kg/cm}^2$ atau ~ 100 psi) pada ujung akar yang sedang tumbuh untuk menembus tanah, membantu melumasi dan melindungi akar selama pertumbuhan, tutup akar dan sel epidermis mengeluarkan lendir, bahan kental, berbobot molekul tinggi, tidak larut, dan kaya polisakarida. Selain pelumasan, lendir juga memberikan perlindungan dari kekeringan, membantu perolehan unsur hara, dan yang paling penting

mengikat partikel-partikel tanah, membentuk agregat yang meningkatkan kualitas tanah dengan meningkatkan infiltrasi air dan aerasi (McNear, 2013).

11.5 Mikroorganisme dan Makroorganisme Penghuni Tanah

Menurut (Singh, Chaudhary dan Verma, 2023) mikroorganisme tanah (secara kolektif biomassa mikroba tanah) merupakan agen transformasi bahan organik tanah, unsur hara dan sebagian besar proses utama tanah. Aktivitasnya sangat dipengaruhi oleh interaksi fisikokimia dan ekologi tanah. Mikroorganisme memiliki peranan dalam mengikat N, mendaur ulang nutrisi, mendorong pertumbuhan tanaman, mengendalikan hama dan penyakit, dan menciptakan struktur tanah. Mikroorganisme yang ada di dalam tanah menjadi penting karena memengaruhi struktur dan kesuburan tanah. Tumbuhan maupun mikroorganisme memperoleh unsur hara dari tanah dan mengubah sifat-sifat tanah melalui pengendapan sampah organik dan aktivitas metabolisme. Beberapa jenis mikroorganisme penghuni tanah seperti bakteri, ganggang, dan jamur.

11.5.1 Bakteri

Bakteri adalah organisme bersel satu yang sangat kecil yang hanya dapat dilihat dengan cahaya kuat (1.000×) atau mikroskop elektron. Bakteri hidup berdekatan dan lebih banyak jumlahnya di dekat akar, yang merupakan salah satu sumber makanan mereka. Bakteri penting dalam tanah pertanian karena berkontribusi terhadap siklus karbon melalui fiksasi (fotosintesis) dan dekomposisi. Beberapa bakteri merupakan pengurai penting seperti actinomycetes sangat efektif dalam memecah zat keras seperti selulosa (yang membentuk dinding sel tumbuhan) dan kitin (yang membentuk dinding sel jamur) (Balasubramanian, 2017).

Menurut (Sharma, Dangi dan Choudhary, 2014) fungsi biologis actinomycetes terutama bergantung pada sumber bakteri yang diisolasi. Protease alkali mikroba untuk keperluan manufaktur sebagian besar diproduksi dari *Streptomyces* dan *Bacillus*. Actinomycetes melimpah di tanah, dan bertanggung jawab atas sebagian besar pencernaan karbohidrat resisten seperti

kitin dan selulosa. Beberapa actinomycetes dan actinobacteria lainnya terkenal sebagai pengurai bahan beracun dan digunakan dalam bioremediasi yang secara signifikan beradaptasi dengan baik untuk bertahan hidup di lingkungan yang keras. Beberapa diantaranya mampu tumbuh pada suhu tinggi ($>50^{\circ}\text{C}$) dan penting untuk metode pengomposan.



Gambar 11.3: Pengaplikasian Actinomycetes (Sharma, Dangi dan Choudhary, 2014)

11.5.2 Ganggang

Menurut (Salam, 2020) ganggang hijau biru yang bersimbiosis dengan *Azolla* sp. di tanah sawah berperan dalam memfiksasi N dan menyumbangkan N untuk pertumbuhan tanaman padi. Kehadiran ganggang ini di tanah sawah bila dikelola dengan baik akan dapat meningkatkan keefisienan pemupukan N karena dapat mengurangi masukan N melalui pupuk buatan dan mengganti sebagiannya dengan N dari N_2 udara. Hasil penelitian (Lumbantoruan et al., 2022) menyebutkan bahwa peningkatan hasil tanaman sorgum pada peubah tinggi tanaman, jumlah daun, panjang akar, dan berat biji karena pemberian pupuk hayati secara kombinasi dan mandiri. Hasil penelitian (Taha dan El-Shahat, 2017) penggunaan kombinasi berbagai sumber pupuk hayati *Azolla*, ganggang hijau biru dan asam humat, akan menghasilkan peningkatan yang cukup terhadap pertumbuhan tanaman, produktivitas, kualitas buah dan kandungan nutrisi buah aprikot.

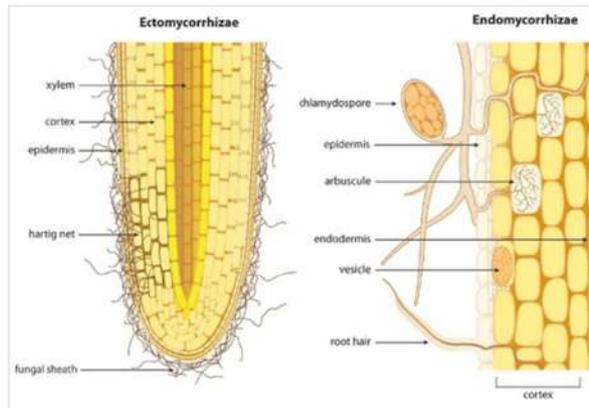
11.5.3 Jamur

Di bidang pertanian, kondisi kesehatan tanah mempunyai pengaruh terhadap lingkungan. Selain itu, penelitian diperlukan untuk menetapkan metode terbaik dalam melestarikan keanekaragaman hayati, dengan mempertimbangkan aktivitas jamur serta jasa ekosistem seperti pH dan tekstur tanah. Penting untuk memiliki alat yang tepat dan mampu mengidentifikasi spesies sekaligus menentukan signifikansinya terhadap lingkungan (Ali, Hussein dan Radef, 2021). Fiksasi nitrogen biologis (BNF) adalah cara utama untuk memasukkan N ke dalam ekosistem lahan subur dan menyeimbangkan C:N di dalam tanah. Beberapa sistem simbiosis kacang-kacangan yang toleran terhadap kondisi ekstrim seperti salinitas, alkalinitas, keasaman, kekeringan, pupuk, toksisitas logam, dan lain-lain, telah diidentifikasi (Sachidanand et al., 2019).

Aplikasi mikroba pelarut fosfat (MPF) juga sering dalam bentuk produk yang sudah jadi atau dikenal sebagai pupuk hayati. Pupuk hayati merupakan formulasi dari inokulan berbasis bahan pembawa (carrier) yang mengandung mikroba efektif seperti MPF. Pembuatan formulasi dalam pupuk hayati bertujuan agar mikroba mudah diaplikasikan, serta meningkatkan daya hidup sel dengan cara melindunginya (Asril, Lestari, et al., 2023). Dari hasil nilai rata-rata menunjukkan perlakuan pupuk hayati Mikoriza + Petrobio 60 g (F3) lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan kontrol (F0). Hal ini dapat mempertahankan rata-rata berat tanah gambut yang sedang menghadapi cekaman kekeringan karena mampu mempertahankan rata-rata berat tanah yang membuat akar tanaman jagung lebih kuat dan kokoh dalam menopang batang (Febriyansah, Lumbantoruan dan Paulina, 2023).

Hasil penelitian Bhat et al., (2018) mikoriza tanah penting untuk perkembangan pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Pemanfaatan mikoriza mempunyai potensi besar untuk melindungi tanaman dari penyakit melalui mekanisme biokontrolnya. Hal ini menawarkan strategi alternatif yang ramah lingkungan dengan mengurangi penggunaan bahan kimia. Mikoriza dapat meningkatkan pengatur pertumbuhan tanaman, menyediakan mekanisme pertahanan pada tanaman, mengatur aktivitas enzimatis, meningkatkan laju fotosintesis dan mendukung bio-remediasi, sehingga bertindak sebagai fasilitator lingkungan dalam pertanian berkelanjutan baik dalam hal produksi dan perlindungan lingkungan. Populasi mikroba seperti itu memerlukan strategi sistematis agar potensinya dapat dimanfaatkan secara efektif di masa depan.

Menurut McNear (2013), endomikoriza merupakan simbiosis obligat, artinya endomikoriza tidak dapat tumbuh tanpa bergantung pada tanaman inangnya. Oleh karena itu, lebih banyak diketahui perkembangan simbiosis ektomikoriza karena dapat tumbuh secara mandiri. Jika dekat dengan akar, pertumbuhan hifa dan percabangan akan meningkat dan mikoriza akan memulai percabangan akar yang mungkin akan meningkatkan kemungkinan intersepsi akar dan jamur. Hasil penelitian Paulina, Mansur dan Junaedi, (2018) menunjukkan bahwa kombinasi fungi mikoriza arbuskula (FMA) dan pengapuran pada peubah kolonisasi akar tidak berpengaruh nyata, sedangkan tipe spora yang dijumpai adalah *Glomus* sp, *Acaulospora* sp, dan *Gigaspora* sp pada tanaman aren di lahan pasca tambang batubara.



Gambar 11.4: Perbedaan antara Kolonisasi Ektomikoriza Dan Endomikoriza Pada Akar Tanaman (McNear, 2013).

Anggota spesies yang tergolong makrofauna dapat dilihat dengan mata telanjang (umumnya ber diameter > 2 mm). Makrofauna termasuk vertebrata (kadal, mencit, kelinci, dll.) yang menggali tanah untuk mencari makan atau berlindung, dan hewan invertebrata (siput, cacing tanah, dan arthropoda tanah seperti semut, rayap, kaki seribu, kelabang, ulat, larva kumbang dan serangga dewasa, larva lalat dan tawon, laba-laba, kalajengking, jangkrik, dan kecoa) yang hidup dan mencari makan di dalam atau di atas tanah, serasah di permukaan, dan komponen-komponennya. Keduanya alami dalam sistem pertanian, makrofauna tanah merupakan pengatur penting dekomposisi, siklus unsur hara, dinamika bahan organik tanah, dan jalur pergerakan air (Musbau dan Ayinde, 2021).

Tabel 11.4: Makroorganisme Tanah dan Peranannya (Salam, 2020)

Jenis Makroorganisme	Manfaat
Nematoda	Sebagai dekomposer
Cacing tanah	Menciptakan pori tanah makro sehingga meningkatkan porositas tanah
Semut	Mengangkut partikel-partikel tanah dari subsoil
Tikus	Mengolah dan meningkatkan porositas tanah
Marmut	Mengolah dan meningkatkan porositas tanah

Bab 12

Pengambilan Sampel dan Analisis Tanah

12.1 Pengambilan Sampel Tanah

Pengambilan sampel tanah yang representatif sangat penting sebelum melakukan analisis tanah, oleh sebab itu uji tanah diawali oleh proses pengambilan sampel tanah. Keakuratan hasil analisis dan keandalan hasil bergantung pada kualitas sampel tanah yang telah dikumpulkan. Kesalahan dalam pengambilan sampel tanah seringkali lebih besar dibandingkan kesalahan dalam analisis. Jika sampel tanah tidak diambil secara benar, sampel yang dikumpulkan mungkin tidak akan mencerminkan kondisi tanah sesungguhnya. Proses pengambilan sampel tanah melibatkan ketidakpastian, termasuk dalam pemilihan lokasi, kedalaman pengambilan sampel, dan teknik pengambilan sampel. Kesalahan dalam langkah-langkah ini dapat secara signifikan memengaruhi keterwakilan sampel. Kesalahan dalam pengambilan sampel tanah dapat memiliki dampak signifikan pada hasil analisis dan keputusan yang diambil berdasarkan analisis tersebut, sangat penting untuk mematuhi prosedur pengambilan sampel yang benar dan meminimalkan faktor-faktor yang dapat menyebabkan kesalahan. Penggunaan teknik pengambilan sampel yang sesuai, pemilihan lokasi sampel yang cermat, dan

pengecahan kontaminasi selama proses pengambilan sampel akan menentukan kualitas sampel tanah.

Alasan utama yang sering mengemuka mengapa sampel tanah representatif sangat penting. Pertama, sifat tanah yang sangat beragam. Sifat tanah sangat bervariasi bahkan dalam suatu wilayah karena faktor-faktor seperti topografi, vegetasi, penggunaan lahan, dan formasi alami geologi (Hardjowigeno, Subagyo and Rayes, 2005). Pengumpulan sampel yang representatif membantu memperkecil kesalahan akibat dari variabilitas ini dan memberikan gambaran yang lebih akurat mengenai kondisi tanah secara keseluruhan. Kedua, analisis tanah yang presisi sangat dibutuhkan untuk perencanaan produksi pertanian dan berbagai kebutuhan pembangunan lainnya (Irawan, Ariani and Pasandaran, 2019). Analisis tanah dilakukan untuk menilai kandungan unsur hara, tingkat pH, kandungan bahan organik, dan parameter-parameter penting tanah lainnya. Ketiga, rekomendasi spesifik lokasi membutuhkan data lengkap dan akurat (Sarwani et al., 2011). Hasil analisis tanah dapat memberikan jalan dalam pengambilan keputusan terkait penggunaan dosis pupuk, jenis pupuk yang akan diberikan, perbaikan tanah, praktik budidaya tanaman, dan praktik pengelolaan lainnya dalam perumusan suatu kebijakan. Data yang akurat akan memberikan jaminan kepastian bahwa rekomendasi dapat disesuaikan dengan kebutuhan spesifik lokasi, mengoptimalkan penggunaan sumber daya lahan, dan meminimalkan dampak lingkungan. Keempat, sampel tanah yang representatif dapat menghindari bias. Pengambilan sampel yang tidak akurat atau bias dapat menyebabkan kesimpulan yang salah dan kesalahan yang berpotensi merugikan bagi pihak-pihak yang berkepentingan (Harrison et al., 2003). Pengambilan sampel yang tidak representatif dapat mengakibatkan penilaian yang berlebihan atau terlalu rendah terhadap sifat-sifat tanah, sehingga menghasilkan keputusan pengelolaan pertanian atau lingkungan yang kurang optimal.

Sampel tanah representatif dapat menjadi suatu tantangan terutama karena variabilitas alami tanah dan potensi kesalahan dalam proses pengambilan sampel. Namun selain kedua faktor utama tersebut, terdapat beberapa alasan mengapa pengambilan sampel tanah menjadi tidak mudah. Tanah secara alami memiliki komposisi, tekstur, dan kandungan nutrisi yang bervariasi bahkan dalam suatu area yang sempit. Variabilitas yang melekat ini menyulitkan untuk mengumpulkan kualitas parameter yang sama dalam satu sampel. Selain pada dimensi luasan area, sifat-sifat tanah dapat berbeda secara signifikan pada tingkatan kedalaman yang berbeda. Untuk mendapatkan gambaran yang

komprehensif, sampel tanah tertentu dengan pertimbangan kebutuhan spesifik perlu dikumpulkan dari berbagai lapisan tanah, yang mungkin merupakan tantangan dari segi logistik dan waktu. Penilaian sampel tanah pertanian atau lingkungan bisa sangat heterogen, dengan berbagai kondisi lanskap, penggunaan lahan, vegetasi, dan topografi (Gulinck et al., 2001). Mengumpulkan keragaman ini dalam jumlah sampel yang terbatas bisa menjadi tantangan yang besar. Apalagi jika akses ke area tertentu mungkin terbatas atau sulit, sehingga sulit untuk mengumpulkan sampel dari seluruh bagian lokasi. Kesalahan dalam menentukan lokasi pengambilan sampel, seperti terlalu dekat dengan sumber kontaminasi potensial atau terlalu dekat dengan tepi area yang tidak mewakili, dapat menyebabkan kesalahan besar dalam keterwakilan sampel.

12.2 Prinsip Pengambilan Sampel Tanah

Perubahan lahan di masa lalu baik secara alamiah maupun akibat kegiatan manusia, seperti adanya erosi, pengelolaan lahan, pemberian pupuk atau gangguan lahan, dapat menimbulkan variabilitas tambahan, sehingga semakin sulit untuk mendapatkan sampel yang representatif. Kegiatan pengambilan sampel tanah seringkali dapat menimbulkan kesalahan. Teknik pengambilan sampel yang tidak konsisten, peralatan yang terkontaminasi, dan penyimpanan sampel yang tidak tepat dapat memengaruhi keterwakilan tanah yang dikumpulkan. Sampel dapat terkontaminasi oleh peralatan yang tidak bersih, wadah yang tidak sesuai, atau bahkan oleh tangan manusia. Kontaminasi ini dapat mengarah pada hasil yang salah dalam analisis laboratorium. Selain itu, sumber daya yang terbatas, termasuk keterbatasan waktu dan anggaran, dapat memengaruhi jumlah sampel yang dapat dikumpulkan dan dianalisis, sehingga berpotensi menyebabkan penilaian tidak lengkap. Untuk mengurangi keragaman hasil analisis, maka metode yang digunakan, personil yang melaksanakan, peralatan dan metode dalam pengambilan contoh di Indonesia khususnya distandarkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN). Standar mengenai pengambilan contoh padat secara umum dapat dilihat dalam bentuk dokumen SNI 0428-1998 - A: Petunjuk pengambilan contoh padatan.

Analisis tanah memerlukan sampel tanah yang berbeda-beda, tergantung tujuannya. Ada beberapa jenis contoh tanah, antara lain contoh tanah utuh (contoh tanah yang tidak terganggu), agregat utuh (agregat tanah yang tidak

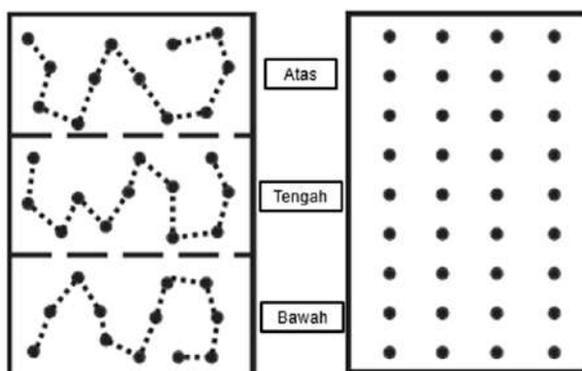
terganggu), dan contoh tanah yang tidak lengkap (contoh tanah terganggu) yang tujuan analisisnya berbeda. Pengambilan contoh tanah dapat dilakukan pada waktu dan kondisi apapun, selama waktu dan kondisi tersebut tidak menyebabkan bias yang tinggi. Frekuensi pengambilan sampel tanah tergantung pada seberapa sering sampel tanah tersebut harus dikumpulkan pada pengujian tanah tertentu, kondisi lingkungan, dan nilai parameter lainnya. Karakter status beberapa unsur hara tanah tidak sama, ada yang berubah dengan cepat ada yang relatif stabil. Misalkan karena sifatnya, kadar fosfor dalam tanah berubah lebih lambat dibandingkan dengan nitrogen yang sangat cepat berubah. Sehingga pengujian terhadap kedua unsur tersebut masing-masing memerlukan waktu, frekuensi, dan kondisi yang berbeda.

Sampel yang diambil harus dipastikan bagian dari populasi bahan yang setiap anggota populasi berpeluang sama untuk diambil sebagai sampel. Menurut (Ackerson, 2018), hal penting yang perlu diperhatikan dalam pengambilan sampel agar representatif adalah memenuhi prinsip-prinsip sebagai berikut:

1. Terorganisasi: mempunyai sistem yang baik dalam pengumpulan sampel tanah dan menyederhanakan penanganannya serta meminimalkan peluang kesalahan manusia seperti kesalahan pelabelan atau salah menaruh sampel tanah. Penyimpangan data mungkin didapatkan pada saat pengambilan contoh tanah tidak tepat, menyalahi metode, waktu pengambilan yang tidak diperhitungkan, serta jarak tempuh pengiriman contoh tanah dari lapangan ke laboratorium yang terlalu lama jauh, sehingga menyebabkan kerusakan contoh tanah.
2. Konsisten: teknik pengumpulan sampel dilakukan seragam dalam suatu waktu tertentu dan dengan cara yang sama selama pengambilan sampel akan sangat meningkatkan kualitas dan keandalan hasil. Ini berarti mengusahakan pengambilan sampel dapat dilakukan dengan kondisi sama dengan cara yang sama untuk setiap sampel. Penting untuk mempelajari bagaimana data diperoleh dan seberapa besar keyakinan terhadap nilai data yang diperoleh. Aspek tingkat kepercayaan tidak lepas dari prinsip dan metode statistika.
3. Praktis: prosedur yang sederhana yang membantu memastikan pengumpulan sampel dapat konsisten dan mudah terorganisir. Dalam pengambilan sampel, sebaiknya menggunakan alat dan bahan yang

memadai dan terstandarisasi sehingga tidak mengurangi tujuan akhir dari pengambilan sampel yang dilakukan dan meminimalisir bias.

Pengambilan sampel tanah harus dimulai dengan kegiatan penyusunan program atau rencana pengambilan contoh dengan serinci mungkin. Program pengambilan contoh adalah dokumen yang memuat informasi yang terkait dengan pengambilan contoh, dokumen ini berisi tujuan dari pengujian sampel tanah termasuk informasi tentang komponen bahan analisis dan parameter yang akan ditetapkan. Program pengambilan sampel tanah juga harus memuat koordinasi dengan pihak-pihak terkait seperti penanggung jawab alat, analisis laboratorium, dan petugas yang bertanggung jawab di area pengambilan sampel. Sifat bahan contoh yang akan diambil, lokasi pengambilan contoh, dan waktu pengambilan contoh didokumentasikan dengan baik dan jelas. Dokumen juga penting untuk membuat alat yang digunakan, jumlah contoh, metode pengambilan contoh, cara pengemasan dan transportasi yang dipilih. Syarat penanganan contoh dan pilihan metode juga bagian yang tidak dapat dilewatkan dari dokumen.



Gambar 12.1: Di sebelah kiri: skema pembagian dan pengambilan sampel untuk kondisi lahan miring dengan area atas, tengah, dan bawah yang berbeda.

Lingkaran mewakili sub-sampel lokasi yang digabungkan untuk masing-masing dari tiga area. Di sebelah kanan: pengambilan sampel grid suatu bidang. Setiap sampel dianalisis secara terpisah untuk mengevaluasi lapangan variabilitas (Walworth, 2006).

Catatan waktu dan biaya yang akan digunakan dari pengambilan sampel sampai dengan analisis contoh menjadikan dokumen lebih lengkap dan

berguna sebagai pertimbangan kegiatan pengambilan sampel selanjutnya. Persyaratan legal formal untuk pengambilan sampel juga harus dipenuhi untuk menghindari pelanggaran aturan di area pengambilan sampel. Persyaratan untuk dokumentasi area pengambilan sampel juga diperlukan, karena beberapa tempat mungkin terbatas untuk dokumentasi.

Sampel tanah yang representatif dapat diperoleh dengan cara-cara yang dapat dipraktekkan sebagai berikut:

1. Sistematis: Membagi wilayah berdasarkan zona dengan faktor-faktor yang memengaruhi variabilitas tanah (Gambar 1), seperti topografi atau riwayat penggunaan lahan. Tentukan jumlah sampel dan jumlah perkiraan lokasi pengambilan sampel tanah. Pelajari bagian lokasi pengambilan sampel dengan baik dan strategi yang akan diterapkan untuk detailnya. Kumpulkan sampel secara sistematis dari setiap zona untuk memastikan keterwakilan.
2. Kedalaman pengambilan sampel: sifat tanah dapat bervariasi pada kedalaman yang berbeda. Sampel dapat dikumpulkan dari berbagai kedalaman yang relevan yang disesuaikan dengan kebutuhan analisis (Gambar 2). Misalnya, untuk sampel tanah pertanian untuk kebutuhan analisis dikumpulkan dengan bor tanah atau auger, hingga kedalaman pengolahan tanah atau hingga kedalaman perakaran tanaman yang efektif. Berhati-hatilah untuk memastikan bor, auger, atau ring sampler dimasukkan secara vertikal ke dalam tanah dan tidak miring ke samping.
3. Alat pengambilan sampel: siapkan alat sebaik mungkin sebelum memulai praktikum pengambilan sampel. Gunakan alat dan wadah yang bersih dan tidak terkontaminasi untuk mengumpulkan sampel. Hindari penggunaan alat logam yang dapat bereaksi dengan komponen tanah. Kantong atau wadah sampel juga harus diberi label dengan benar.
4. Pengambilan sampel acak: dalam setiap zona pengambilan sampel, pilih lokasi sampel secara acak untuk menghindari bias. Jarak titik antar lokasi tempat pengambilan sub sampel akan bervariasi tergantung pada strategi pengambilan sampel yang telah

direncanakan. Secara umum, semakin besar luas tanah area pengambilan sampel, semakin jauh jarak yang dibutuhkan untuk setiap titik lokasi pengambilan sub sampel. Hindari pengambilan sampel di area yang berpotensi sebagai penyebab bias, hindari pengambilan sampel dekat tepi lapangan, jalan raya, atau sumber kontaminasi potensial lainnya. Bersihkan area permukaan untuk pengambilan sampel tanah dari residu tanaman.

5. Sampel yang cukup: kumpulkan sampel tanah dalam jumlah yang memadai dari setiap zona untuk memastikan validitas data secara statistik. Pastikan jumlah sampel yang dikumpulkan dapat memenuhi jumlah minimum parameter yang akan diukur. Sampel komposit dibuat dengan menggabungkan beberapa sampel individu dari setiap zona. Semakin banyak jumlah sub sampel yang dikumpulkan dalam suatu komposit, semakin representatif suatu sampel. Pertimbangan waktu, biaya, tenaga, dan jarak pengiriman sampel dapat berpengaruh terhadap jumlah sampel yang dikumpulkan.
6. Dokumentasikan setiap Informasi: catat keterangan pada subsampel yang telah dikumpulkan dengan memberikan kode (Gambar 3). Selain itu semua informasi penting tentang setiap lokasi sampel, termasuk koordinat Global Positioning System (GPS), kedalaman, dan karakteristik area yang relevan akan bermanfaat sebagai informasi. Jika memungkinkan, rekam lokasi pengambilan dengan GPS atau aplikasi GPS pada ponsel cerdas. Informasi ini dapat berguna untuk melacak keberadaan sampel yang telah dikumpulkan. Selain itu, membantu untuk menemukan kembali lokasi pengambilan sampel yang sama untuk kebutuhan sampling lainnya. Dokumentasi ini selain membantu dalam menafsirkan hasil analisis juga sebagai bahan pembelajaran dan peningkatan teknik pengambilan sampel tanah dengan karakteristik yang sama.
7. Pencampuran: Campurkan dan homogenkan sampel individu secara menyeluruh dalam setiap zona untuk menghasilkan sampel komposit yang representatif. Metode pengambilan sampel yang paling umum dan ekonomis di area adalah pengambilan sampel komposit, lokasi

tempat subsampel dicuplik dipilih secara acak di lapangan, dan sub sampelnya digabungkan untuk dianalisis. Hasil analisis dari pengambilan sampel komposit memberikan nilai rata-rata untuk sampel dalam suatu daerah. Jumlah subsampel sebenarnya bergantung pada ukuran area dan keseragaman di lapangan. Umumnya area yang lebih besar atau area yang kurang seragam harus diambil sampelnya secara lebih intensif daripada sampel yang kecil dan seragam (Walworth, 2006).

8. Pertimbangan ahli: sebaiknya komunikasikan pada ahli yang berpengalaman dalam pengambilan sampel sebelum melakukan pengambilan sampel. Masukan yang berharga dari para ahli tanah yang berpengalaman mengenai teknik pengambilan sampel, alat yang digunakan, bahan yang diperlukan, manajemen sampel, dan penanganan sampel akan sangat membantu dalam mendapatkan sampel yang representatif.



Gambar 12.2: Di sebelah kiri: pengambilan contoh tanah dengan core drilling. Di sebelah kanan: hasil pengambilan sampel core pada berbagai kedalaman (koleksi pribadi).

Setelah proses pengumpulan sampel, penting untuk menyimpan sampel dengan benar untuk mencegah kontaminasi. Biasanya, sebagian besar laboratorium lebih memilih untuk menyiapkan sampel di laboratorium mereka. Artinya, jika pengirim sampel dianjurkan mengirim sampel langsung ke laboratorium tanpa melakukan pemrosesan apa pun. Beberapa laboratorium memerlukan sampel untuk diserahkan dalam kantong sampel tertentu atau wadah. Bicarakan hal teknis dengan analis laboratorium tujuan analisis untuk informasi spesifik tentang persyaratan penanganannya dan kemasan sampel.

Jika sampel tidak langsung dikirim ke laboratorium, simpan sampel di lemari es atau freezer untuk meminimalkan kemungkinan kerusakan sampel karena mikroorganisme. Tanah yang terlalu basah dan tidak memungkinkan disimpan dalam lemari es/freezer, maka biarkan sampelnya mengeringkan sedikit dengan menyebarkan tanah dalam lapisan tipis pada permukaan datar seperti meja (Gambar 4). Jangan pernah mengeringkan sampel dalam oven atau gelombang mikro; panas yang berlebihan dapat merusak sampel dan mengubah hasil laboratorium (Ackerson, 2018).



Gambar 12.3: Di sebelah kiri: proses pengambilan dan pengumpulan contoh tanah dengan ring sampler. Di sebelah kanan: hasil pengambilan sampel dengan ring sampler yang telah diberi kode informasi kegiatan. (sumber: koleksi pribadi).



Gambar 12.4: Di sebelah kiri: proses penanganan contoh tanah di laboratorium. Di sebelah kanan: penyimpanan contoh tanah dalam wadah khusus untuk analisis tanah. (sumber: koleksi pribadi).

Pedoman ini dapat membantu memastikan bahwa sampel tanah yang diambil benar-benar representatif untuk memperoleh hasil analisis tanah yang andal

dan berharga. Hal ini dibutuhkan untuk membuat keputusan di bidang pertanian, pengelolaan lingkungan, konstruksi, dan berbagai aplikasi lainnya.

12.3 Analisis Tanah

Analisis tanah dapat diartikan baik secara sempit maupun secara luas. Analisis tanah secara sempit diartikan sebagai pengukuran dan evaluasi sifat-sifat fisik, kimia, dan biologi dari tanah dengan fokus pada beberapa parameter kunci yang umumnya digunakan dalam pertanian dan pengelolaan lahan. Sedangkan, analisis tanah secara luas atau yang lebih komprehensif diartikan sebagai pengumpulan data yang lebih rinci dan mendalam tentang berbagai sifat dan komponen tanah. Ini biasanya dilakukan oleh ahli pertanian, ahli tanah, ilmuwan lingkungan, dan peneliti untuk memahami komposisi dan karakteristik tanah dalam konteks yang lebih luas. Analisis tanah terdiri dari analisis kualitatif dan kuantitatif. Tujuan analisis kualitatif adalah pendeteksian dan identifikasi sifat-sifat tanah, sedangkan analisis kuantitatif bertujuan untuk menetapkan jumlah atau konsentrasi parameter tanah.

Menurut Walworth (2006) pengujian tanah terdiri dari empat langkah:

1. Pengumpulan sampel tanah yang representatif
2. Analisis laboratorium terhadap sampel tanah
3. Interpretasi hasil analisis
4. Rekomendasi pengelolaan berdasarkan interpretasi hasil analisis

Subbab ini hanya akan dibatasi pada poin kedua yaitu analisis laboratorium terhadap sampel tanah. Tujuan utama analisis tanah adalah untuk memperoleh informasi yang berguna dalam bidang pertanian, kehutanan, teknik lingkungan, perencanaan pengembangan lahan, dan berbagai bidang lainnya. Hal-hal tersebut menyebabkan banyak sekali parameter yang dapat diukur dalam suatu analisis atau uji tanah menurut tujuannya. Oleh karena itu, sub bab ini tidak akan membahas secara detail mengenai metode analisis tanah yang telah banyak disajikan dalam jurnal ilmiah maupun buku teknik analisis tanah.

Metode pengujian kualitas tanah saat ini telah dilakukan standardisasi oleh Organisasi Standarisasi Internasional (ISO) yang dituangkan dalam dokumen TC 190 'Soil Quality' (Houba et al., 1996). Di Indonesia, pengujian tanah dapat dilakukan di berbagai laboratorium khusus di universitas, lembaga

pemerintah, dan swasta dengan alat dan metode yang telah dilakukan standarisasi oleh Komite Akreditasi Nasional (KAN). Setiap laboratorium memiliki instruksi khusus tentang cara mengirim sampel dan memberi label pada sampel. Untuk memastikan laboratorium menyediakan hasil analisis yang akurat dan tepat waktu, pengirim sampel harus mengikuti instruksi khusus laboratorium yang dipilih. Meskipun laboratorium memberikan jaminan kualitas, layanan pengujian yang andal, mungkin terdapat perbedaan metodologi dan hasil antar laboratorium. Oleh karena itu, seringkali dianjurkan menggunakan laboratorium pengujian tanah yang sama setiap tahun. Ini akan memastikan bahwa pengamatan terhadap perubahan hasil pengujian tanah dari tahun ke tahun disebabkan oleh perubahan nyata dalam status kesuburan bukan karena penyimpangan karena pengujian laboratorium yang berbeda (Ackerson, 2018). Jaminan kesesuaian hasil analisis di suatu laboratorium dibandingkan dengan sampel tanah standar. Sampel tanah standar merupakan acuan untuk mengevaluasi hasil analisis suatu kumpulan sampel tanah yang dianalisis.

Kebutuhan akan analisis tanah dan tujuannya sangat beragam. Umumnya peneliti hanya menguji tanah berdasarkan kebutuhan penelitian tertentu, sehingga parameter yang diukur biasanya dibatasi. Berikut ini adalah beberapa komponen utama yang biasa dilakukan dalam analisis tanah:

1. Analisis Fisika Tanah: Meliputi pengukuran tekstur tanah (berpasir, liat, liat), struktur tanah (agregat tanah), kepadatan tanah, retensi air, dan infiltrasi air. Informasi ini penting untuk memahami kemampuan tanah dalam menyimpan air dan oksigen, serta ketersediaan unsur hara bagi tanaman.
2. Analisis Kimia Tanah: Meliputi pengukuran konsentrasi berbagai unsur hara dan unsur hara esensial dalam tanah seperti nitrogen, fosfor, kalium, unsur mikro seperti besi, mangan, seng, pH tanah, tingkat keasaman atau alkalinitas tanah, serta kandungan bahan organik. Informasi ini digunakan untuk menentukan kesuburan tanah dan kebutuhan pupuk.
3. Analisis Biologi Tanah: Termasuk mengevaluasi aktivitas mikroorganisme, cacing, dan makhluk hidup lainnya di dalam tanah. Organisme ini berperan penting dalam siklus nutrisi dan ekosistem tanah, serta dapat memberikan petunjuk tentang kesehatan tanah.

4. Analisis Kontaminasi Tanah: Ini termasuk mengukur kandungan logam berat, bahan kimia beracun, atau polutan lainnya di dalam tanah. Hal ini penting dalam penilaian risiko lingkungan dan upaya remediasi tanah yang terkontaminasi.
5. Analisis Ketersediaan Air Tanah: Hal ini mencakup evaluasi kapasitas penahan air tanah dan potensi drainase. Informasi ini dapat membantu dalam perencanaan irigasi dan pengelolaan air tanah.

Kebutuhan analisis dapat memiliki tujuan yang sangat luas, tetapi dalam ilmu tanah dikenal adanya analisis tanah rutin atau analisis tanah standar. Pengujian tanah standar dapat berbeda-beda di setiap laboratorium. Parameter pH tanah, ketersediaan fosfor (P), kalium (K), kalsium yang tersedia (Ca), magnesium (Mg), salinitas, kandungan bahan organik, dan tekstur tanah merupakan parameter umum dalam suatu analisis tanah rutin di laboratorium. Beberapa laboratorium juga menyertakan analisis nitrogen (N), sulfur (S), kapasitas tukar kation, kejenuhan basa, dan analisis nutrisi mikro dalam analisis rutin. Di Indonesia, salah satu laboratorium pengujian yang biasa melakukan pengujian tanah adalah Laboratorium Tanah, Tanaman, Pupuk, Air di bawah Badan Standardisasi Instrumen Pertanian. Laboratorium ini dalam formulir analisisnya menawarkan jenis analisis kimia tanah rutin yang terdiri dari 10 poin analisis utama di luar persiapan contoh. Analisis tersebut terdiri dari tekstur 3 fraksi (tanah, pasir, dan liat), pH-H₂O dan pH KCl, C-organik, N-Kjedahl, P tersedia, K tersedia, P dan K potensial, Kapasitas Tukar Kation (KTK), Kation dapat tukar (K, Na, Ca, Mg-dd) dan Kemasaman dapat tukar (Al dan H-dd). Informasi sampel tanah akan membantu analisis menentukan metode yang akan dipakai.

12.3.1 pH Tanah

pH tanah adalah ukuran keasaman atau kebasaan suatu larutan tanah yang menunjukkan konsentrasi ion H⁺, dinyatakan dalam bentuk $-\log [H^+]$. Secara teknis pengukuran pH tanah hanya dapat dilakukan pada larutan tanah. Pengukuran pH pada sampel tanah dapat dilakukan dengan mencampur sampel tanah dengan air dengan perbandingan 1:5, kemudian dikocok semalam 30 menit dan pH-nya diukur menggunakan pH meter (Eviaty and Sulaeman, 2021). Beberapa faktor dapat memengaruhi pengukuran pH tanah. Salah satu faktornya adalah konsentrasi garam pada tanah berbeda, garam yang dimaksud adalah molekul yang ketika ditempatkan dalam air, akan

terpisah dalam bentuk ion bermuatan positif dan negatif. Konsentrasi garam tanah dapat bervariasi menurut musim atau adanya penambahan berupa aplikasi pupuk. Kandungan garam pada tanah yang dipupuk akan meningkat sehingga akan menurunkan nilai pH sampai dengan beberapa satuan unit. Sehingga biasanya dalam suatu analisis pH tanah selain menggunakan air (kemasaman aktif), dilakukan juga analisis pH dengan larutan KCl sebagai kemasaman potensial.

12.3.2 Nitrogen Tanah

Nitrogen (N) merupakan salah satu unsur makro yang dibutuhkan tanaman, sehingga analisis nitrogen biasa dilakukan untuk menilai status N dalam tanah. Kadar N dalam tanah berkisar <0.02% di dalam subsoils sampai dengan 2.5% di dalam tanah-tanah organik (gambut). Tanah yang sering digunakan kegiatan pertanian, kadar N dapat mencapai 0.06 sampai 0.5%. Terdapat dua metode yang biasa digunakan dalam metode penetapan N yaitu Kjeldahl dan Dumas (Bremner and Mulvaney, 1982). Metode Kjeldahl merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk mengukur total N dalam tanah. Metode ini tidak dapat menetapkan nitrogen dalam bentuk nitrat (NO_3). Meskipun pengukuran N tanah biasa dilakukan, namun sulit untuk menginterpretasikannya. Hal ini karena sebagian besar tanah N bersifat mobile. Nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) tersedia langsung bagi tanaman, sehingga uji ini dapat memberikan indikasi ketersediaan N. Analisis nitrat dapat lebih baik memberikan nilai N tersedia bagi tanaman pada saat pengambilan sampel tanah, meskipun tidak memberikan informasi akurat mengenai ketersediaan N. Jika hasil analisis N tanah digunakan untuk membuat rekomendasi pupuk, pengambilan sampel harus dilakukan sesaat sebelum waktu tanam (Walworth, 2006).

12.3.3 Fosfor Tanah

Metode yang digunakan untuk menetapkan fosfor (P) tanah dengan berbagai formasi dan ketersediaannya telah lama dikembangkan berdasarkan sifat-sifat P di dalam tanah. Prinsipnya penetapan P tanah tersedia merupakan hasil konversi dari bahan yang tidak larut ke dalam bentuk larut. Umumnya penetapan P dalam tanah melewati dua fase (Olsen and Sommer, 1982). Fase pertama meliputi persiapan larutan yang mengandung P tanah, dan fase kedua adalah penetapan secara kuantitatif pada larutan yang mengandung P. Pemilihan metode kalorimetrik untuk penetapan P tergantung dari konsentrasi

P dalam tanah. Ekstrak Olsen atau bikarbonat biasa digunakan untuk mengekstrak P dari tanah berkapur, tanah alkalin, dan netral. Sebaliknya, ekstraktan Mehlich dan Bray cocok untuk tanah-tanah dengan sifat masam (Walworth, 2006; Umaternate, Abidjulu and Wuntu, 2014).

12.3.4 Kalium (K), Calcium (Ca), Magnesium (Mg), dan Natrium (Na)

K, Mg, Ca, dan Na merupakan kation utama dapat tukar dalam tanah. Sebagian kecil Kalium (K) dalam tanah dapat dipertukarkan (berkisar 1%). K dapat tukar berkisar dari <100 sampai dengan 2000 ppm tergantung K total dalam tanah. K dapat tukar merupakan bentuk utama dari unsur K yang dapat diserap tanaman. Sama seperti penetapan P, penetapan K baik total maupun tersedia dalam tanah memerlukan ekstraksi tanah terlebih dahulu (Knudsen et al., 1982). Kation Ca dan Mg yang dapat ditukar membantu meningkatkan struktur tanah yang baik, meningkatkan ventilasi, infiltrasi air, dan kapasitas menahan air. Unsur K, Ca, Mg, dan Na dalam tanah dapat diekstrak dengan cara pengabuan basah menggunakan campuran asam pekat HNO₃ dan HClO₄. Kadar K, Ca, Mg, dan Na dalam ekstrak dapat diukur dengan menggunakan Spektrometer Serapan Atom (SSA) (Eviaty and Sulaeman, 2021).

12.3.5 C-organik Tanah

Karbon (C) total di dalam tanah merupakan jumlah C organik dan C anorganik. C merupakan komponen utama dari bahan organik tanah dengan kandungan 48 sampai 58% dari berat total bahan organik tanah. C organik dalam tanah berasal dari bahan organik tanah, sementara C anorganik berasal dari mineral karbonat. C organik berasal dari fraksi tanah organik yang mengandung sel mikroorganisme, tanaman, hewan yang merupakan hasil dekomposisi. C organik dapat ditetapkan dengan analisis berdasarkan hasil analisis total karbon dan C anorganik dan hasil pengurangan C total oleh C anorganik. Selain itu dapat C organik ditetapkan berdasarkan C total setelah C anorganik direduksi melalui proses destruksi. C organik juga ditetapkan melalui reduksi Cr₂O₇²⁻ oleh senyawa organik dan selanjutnya penentuan Cr₂O₇²⁻ tidak tereduksi melalui titrasi oksidasi-reduksi dengan Fe²⁺ atau dengan teknik kalorimetri (Nelson and Sommer, 1982; Walworth, 2006; Eviaty and Sulaeman, 2021).

12.3.6 Kapasitas Tukar Kation (KTK)

KTK dapat diperkirakan sebagai jumlah dari kation utama yang dapat ditukar (K, Ca, Mg, dan Na) dari koloid tanah yang bermuatan negatif. Kation-kation dalam kompleks jerapan tanah ditukar dengan kation NH_4^+ dari pengekstrak. KTK dapat diukur secara kalorimetri menggunakan SSA dengan metode biru indofenol. KTK biasanya ditetapkan dalam bentuk milliequivalents per 100 g tanah. Ammonium acetat (pH 7) dan NaOAc (pH 8.2) telah digunakan secara luas untuk menetapkan KTK tanah. Kesalahan penetapan dapat terjadi ketika metode ini digunakan pada tanah yang mengandung kalsium karbonat, gypsum, zeolite, feldspathoids, atau mineral vermiculite. Metode ini dikembangkan oleh Chapman (Chapman, 1965).

12.3.7 Unsur Mikro (mikronutrien)

Tembaga (Cu), Besi (Fe), Mangan (Mn), dan Seng (Zn) umumnya merupakan unsur opsional yang masuk dalam analisis rutin di sebagian laboratorium. Laboratorium biasanya menggunakan ekstrak DTPA-TEA (asam diethylenetriamine pentaasetat - trietanolamin) atau asam sitrat 2% sebagai agen pengkhelet untuk mengekstraksi Fe, Cu, Mn, dan Zn dari tanah. Analisis unsur mikro ini mungkin tidak akurat dalam menetapkan kekurangan unsur hara tanaman bila dibandingkan dengan unsur hara makro seperti K, Ca, dan Mg. Unsur hara Mn dan Fe sangat tergantung pada ketersediaan air, ketika air meningkat maka ketersediaan Fe dan Mn juga meningkat. Ketersediaan unsur Cu, Fe, Mn, dan Zn dipengaruhi oleh pH tanah, sehingga pengujian ulang mungkin diperlukan ketika pH tanah berubah secara signifikan.

12.3.8 Tekstur Tanah

Tekstur tanah atau besar butir tanah merupakan salah satu jenis parameter yang biasa ditetapkan di laboratorium tanah. Hal ini dikarenakan tekstur tanah berhubungan dengan ketersediaan air, zat terlarut, udara, suhu tanah, berat volume tanah, luas permukaan spesifik, dan kepadatan tanah (Hillel, 1982). Tekstur adalah perbandingan relatif antara fraksi pasir, debu dan liat. Dispersi dan sedimentasi adalah dua tahap dalam penetapan tekstur tanah yang selanjutnya dapat ditentukan dengan metode hidrometer atau metode pipet. Bahan organik dioksidasi dengan hidrogen peroksida, sedangkan garam-garam dihilangkan dengan HCl. Bahan sisa merupakan mineral yang terdiri atas pasir, debu, dan liat. Pasir dipisahkan dengan cara pengayakan basah, sementara

debu dan liat dipisahkan dengan cara pengendapan (Agus, Yusrial and Sutono, 2006).

Hasil analisis tanah yang akurat dapat memberikan informasi yang penting bagi rencana dan evaluasi penggunaan lahan. Langkah awal dalam program pengujian tanah adalah pengambilan sampel tanah. Hal ini sangat penting karena akan menentukan keakuratan hasil analisis tanah. Langkah kedua mencakup pemilihan laboratorium dengan pertimbangan metode dan teknik analisis yang sesuai dengan kondisi tanah tempat pengambilan sampel. Ketiga, penting untuk memahami keakuratan dan batasan berbagai teknik tersedia yang digunakan serta pentingnya temuan dalam suatu uji tanah.

Daftar Pustaka

- [ACIAR] Australian Centre for International Agricultural Research. (2013) “Mosaic of different soil colours across Queensland landscapes”. <https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/soil-properties/colour>. Diakses pada tanggal 27 September 2023.
- [CIFOR] Center for International Forestry Research. (2019). CIFOR Annual report 2019: forest in a time crisis. Bogor (ID): Center for International Forestry Research.
- [UNS] Universitas Sebelas Maret. (2020) “Morfologi dalam Tanah”. https://spada.uns.ac.id/pluginfile.php/448755/mod_resource/content/2/MORFOLOGI%20DALAM%20TANAH%20%281%29.pdf. Diakses pada tanggal 27 September 2023.
- Ackerson, J. P. (2018) Soil Sampling Guidelines. Available at: ag.purdue.edu.
- Agus, F. dan Subiksa I.G.M. 2008. Lahan Gambut: Potensi Untuk Pertanian dan Aspek Lingkungan. Balai Penelitian Tanah. Bogor. 36 hal.
- Agus, F., Yusrial and Sutono (2006) ‘Penetapan Tekstur Tanah’, in Kurnia, U. et al. (eds) Sifat Fisik Tanah dan Metode Analisisnya. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, pp. 43–61.
- Aksakal, E. L., Angin, I., & Oztas, T. (2013). Effects of diatomite on soil consistency limits and soil compactibility. *Catena*, 101, 157-163.
- Ali, W. A., Hussein, R. H. dan Radef, W. T. (2021) “The Effect of Soil Properties on the Biological Diversity of Fungi in Soil University of Anbar,” *Journal of Physics: Conference Series*, 2114(1), hal. 0–7. doi: 10.1088/1742-6596/2114/1/012068.

- Andrea, R., Aliyah, I., dan Yudana, G. (2021). Studi Kesesuaian Lahan Pertanian Sawah Organik (Studi kasus: desa Gempol, Kabupaten Klaten). *Region*, 16(2), pp. 333-347.
- Asril, M. et. Al. (2022) Ilmu Tanah. Sumatera Utara: Yayasan Kita Menulis.
- Asril, M., Lestari, W., et al. (2023) Mikroorganisme Pelarut Fosfat pada Pertanian Berkelanjutan.
- Asril, M., Ningsih, H., Basuki, Asriyanti, A., & Septyani, I. A. (2023). Kesuburan dan Pemupukan Tanah. Yayasan Kita Menulis.
- Asril, M., Ningsih, H., et al. (2023) Kesuburan dan Pemupukan Tanah. 1 ed. Diedit oleh M. J. F. Sirait. Yayasan Kita Menulis.
- Balai Penelitian Tanah. (2009). Analisis Kimia Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Bogor: Balai Penelitian Tanah.
- Balasubramanian, A. (2017) Soil MicroOrganisms, *Kew Bulletin*. doi: 10.2307/4118111.
- Baver, L. D., (1956). *Soil Physics*. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Baver, L.D., Gardner W.H., Gardner, W.R. (1972). *Soil Physics*. Wiley Eastern Limited, New York.
- Bergman I, Stevansson BOH dan Nilsson M. (1997). Regulation of methan production in a Swedish acid mire by pH, temperature, and substrat. *Soil Biol. and Biochem.* 34: 729-741.
- Bhat, R. et al. (2018) *Mycorrhiza : A Sustainable Industry for Plant and Soil Environment, Mycorrhiza - Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration: Fourth Edition*. doi: 10.1007/978-3-319-68867-1.
- Bhushan, L., & Sharma, P. K. (2002). Long-term effects of lantana (*Lantana spp. L.*) residue additions on soil physical properties under rice–wheat cropping: I. Soil consistency, surface cracking and clod formation. *Soil and Tillage Research*, 65(2), 157-167.
- Bodman, G. B. (1949). Methods of measuring soil consistency. *Soil Science*, 68(1), 37-56.
- Bot, A. dan Benites, J. (2005) *The Importance of Soil Organic Matter*, *FAO Soils Bulletin*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. doi: 10.5194/soil-1-707-2015.

- Bremner, J. M. and Mulvaney, C. S. (1982) 'Nitrogen - Total', in Page, A. L. (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2*. Madison, Wisconsin: American Society of Agronomy, Inc Soil; Soil Science Society of America, Inc. Publisher, pp. 595–622. Available at: <http://eprints.uanl.mx/5481/1/1020149995.PDF>.
- Broken Oak studios. (2017) "Soil Analysis Pro". Recovered from <https://cutt.ly/xvV6eEt>. Diakses pada tanggal 27 September 2023.
- Buckman, Harry O. and Nyle C. Brady. (1982). *Ilmu Tanah* (Prof. Dr. Soegiman-Terjemahan). Bhratara Karya Aksara. Jakarta
- Campbell, N.A., Reece, J., Mitchell, L.G. (1999). *Biologi*. Jilid 2. Edisi Kedua. Alih Bahasa: Wasmen. Jakarta: Erlangga.
- Chapman, H. D. (1965) 'Cation exchange capacity', in Black, C. . (ed.) *Methods of soil analysis. Agronomy 9*. Madison, Wisconsin: American society of Agronomy., Inc. Madison, Wis, pp. 891–901.
- Craft, K. J., Helmers, M. J., Malone, R. W., Pederson, C. H., & Schott, L. R. (2018). Effects of Subsurface Drainage.
- de Sousa Oliveira, L., Maia, R. N., de Assis Júnior, R. N., Romero, R. E., Costa, M. C. G., de Alencar, T. L., & Mota, J. C. A. (2020). Tensile strength values for the degrees of soil consistency using human perception and TS-Soil device. *Catena*, 190, 104541.
- Deng, Y., Liu, S., Liu, Q., Cui, Y., & Wang, Q. (2019). Revisiting relationships among specific surface area, soil consistency limits, and group index of clays. *Journal of Testing and Evaluation*, 47(2), 1392-1404.
- Easton, Z. M., Bock, E., & Collick, A. S. (2016). Factors When Considering an Agricultural Drainage System. *Virginia Cooperative Extension* , 208. https://ext.vt.edu/content/dam/ext_vt_edu/topics/agriculture/water/documents/Factors-when-Considering-an-Agricultural-Drainage-System.pdf
- Eka Septiyani, (2022). Pengaruh Karakteristik Fisika dan Kimia Tanah Terhadap Pertumbuhan Sawi di Desa Bahway Kecamatan Balik Bukit Kabupaten Lampung Barat. Lampung: Universitas Raden Intan.
- Eko Hadayanto, Nurul Muddarisna, dan Amirullah Fiqri. (2017). *Pengelolaan Kesuburan Tanah* . Malang: Tim UB Press.

- Eviaty and Sulaeman (2021) Analisis Kimia Tanah , Tanaman , Air , Dan Pupuk. 3rd edn. Edited by dan L. R. W. Linca Anggria, Lenita Herawati. Bogor: Balai Penelitian Tanah. Available at: <http://balittanah.litbang.pertanian.go.id>.
- Fan, Z., Herrick, J.E.; Saltzman, R., Matteis, C., Yudina, A., Nocella, N., Crawford, E., Parker, R., Van Zee, J. (2017) "Measurement of soil color: a comparison between smartphone camera and the Munsell color charts". Soil Science Society of America Journal, 81, 1139-1146.
- FAO [Food and Agriculture Organization]. (2014) "World reference base for soil resources". Italy: Food and Agriculture Organization (FAO).
- Febriyansah, F., Lumbantoruan, S. M. dan Paulina, M. (2023) "Aplikasi Formula Pupuk Hayati dengan Intensitas Penyiraman terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Jagung (*Zea mays* L) pada Tanah Gambut," Jurnal Pertanian Agros, 25(1), hal. 741–750. Tersedia pada: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=id&user=JSn_HxEAAAAJ&citation_for_view=JSn_HxEAAAAJ:hqOjcs7Di f8C.
- Fiantis, D., Pengembangan, L., Informasi, T., & Komunikasi, D. (n.d.). MORFOLOGI DAN KLASIFIKASI TANAH.
- Fitri, F., Gusnidar, & Juniarti. (2020). Pengaruh Aplikasi Kompos Jerami Padi dan *Tithonia* (KOJETO) terhadap Sifat Kimia Psament. Jurnal Tanah dan Sumber Daya Lahan, 255-262.
- Geographypoint. (2015). Soil Structure. <https://geographypoint.com/2015/07/four-4-main-types-of-soil-structure/>
- Geographypoint. (2022). Soil Texture. <https://geographypoint.com/2022/08/importance-of-soil-texture/>
- Gulinck, H. et al. (2001) 'A framework for comparative landscape analysis and evaluation based on land cover data, with an application in the Madrid region (Spain)', Landscape and Urban Planning, 55(4), pp. 257–270. doi: 10.1016/S0169-2046(01)00159-1.
- Gunawan, Joni, Rini Hazriani, Rabbirl Yarham Mahardika. (2020). Morfologi dan Klasifikasi Tanah – Buku Ajar. Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura Kalimantan

- Gupta, R.K. et al. (2008) "Soil color". In: Chesworth, W. (eds) Encyclopedia of Soil Science. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3995-9_534
- Hakim, N., Nyakpa, Y., Nugroho, L.S.G., Saul, R., Diha, A., Hong, G.B., Bailey. (1986). Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Universitas Lampung.
- Han, P., Dong, D., Zhao, X., Jiao, L., dan Lang, Y. (2016) "A smartphone-based soil color sensor: for soil type classification". *Computers and Electronics in Agriculture*, 123, 232-241.
- Hanafiah, Kemas. (2005). Dasar-dasar Ilmu Tanah. Raja Grafindo Persada. Jakarta
- Handayanto, E., Muddarisna, N. and Fiqri, A. (2017) *Pengelolaan Kesuburan Tanah*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Hardjowigeno, S. (1993). *Klasifikasi Tanah dan Pedogenesis*. Edisi Pertama Akademika Pressindo. Jakarta
- Hardjowigeno, S. (2015) *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Hardjowigeno, S., (2010), "Ilmu Tanah", Akademik Pressindo, Jakarta.
- Hardjowigeno, S., Subagyo, H. and Rayes, M. L. R. (2005) *Morfologi Dan Klasifikasi Tanah Sawah*. Malang: Banyumedia.
- Harris, M. (2021, Maret 16). *Lapisan Tanah: Pengertian, Tingkatan, Jenis, Komponen & Horizon*. Retrieved from <https://www.gramedia.com/literasi/lapisan-tanah/>
- Harrison, R. B. et al. (2003) 'Quantifying Deep-Soil and Coarse-Soil Fractions', *Soil Science Society of America Journal*, 67(5), pp. 1602–1606. doi: 10.2136/sssaj2003.1602.
- Hartanto, N., Zulkarnain., & Wicaksono A. A. (2022). Analisis Beberapa Sifat Fisik Tanah Sebagai Indikator Kerusakan Tanah Pada Lahan Kering. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika Lembab*, 4(2), pp. 107-112. doi: 210.35941/JATL.
- Hasibuan, S., & Syafriadiman. (2020). *Buku Ajar Produktivitas Kualitas Tanah Dasar*. Pekanbaru: UR Press.
- Hastuti, Y. P. (2011). Nitrifikasi dan denitrifikasi di tambak. *Jurnal Akuakultur Indonesia*, 89-98.

- Henry D. Foth. (1994). *Dasar-dasar Ilmu Tanah*. Diterjemahkan oleh Soenartono Adisoemarto. Jakarta: Airlangga
- Heryani, N. dan Rejekiingrum, P. (2019). Pengembangan Pertanian Lahan Kering Iklim Kering Melalui Implementasi Panca Kelola Lahan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(2), pp. 63-71. doi:10.21082/jsdl.v13n2.2019.63-71.
- Hessayon, D.G. (1994). *The Lawn Expert*. Transworld Publishers Ltd.
- Hilel, Daniel. (2004). *Introduction to Soil Physics*. Elsevier
- Hillel, D. (1982) *Introduction to Soil Physics*. San Diego, California: Academic Press., Inc.
- Houba, V. J. G. et al. (1996) 'State of the art and future developments in soil analysis for bioavailability assessment', *Science of the Total Environment*, 178(1-3), pp. 21-28. doi: 10.1016/0048-9697(95)04793-X.
- Irawan, B., Ariani, M. and Pasandaran, E. (2019) *Manajemen Sumber Daya Alam dan Produksi Mendukung Pertanian Modern* Editor:, *Correspondencias & Análisis*. Edited by F. Djufry et al. Bogor: IPB Press.
- Kamsurya, M. Y. dan Botanri, S. (2022) "Peran Bahan Organik dalam Mempertahankan dan Perbaiki Kesuburan Tanah Perantanian; Review," *Jurnal Agrohut*, 13(1), hal. 25-34.
- Kelly, R. L. (2005) The "rhizosphere," NSW Department of Primary Industries. doi: 10.2307/2404585.
- Kemas Ali Hanafiah. (2014). *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Kohnke, H. 1980. *Soil Physics*. TMH ed. Tata McGraw-Hill Publ. New Delhi: Co. Ltd.
- Kusuma, Y. R., & Yanti, I. (2021). Pengaruh Kadar Air dalam Tanah Terhadap Kadar C-Organik dan. *IJCR-Indonesian Journal of Chemical Research* , 92-97.
- LandPKS. (2022) "Intro to Soil Color" <https://landpotential.org/wp-content/uploads/2020/07/benefits-urban-gardeners-soil-id-usa-landpks.jpg>. Diakses pada tanggal 28 September 2023.

- Lesmana, R. (2022). Identifikasi Kenampakan Fisik Tanah Gambut (Peat Soil) di Kelurahan Tanjung Selor Timur Kabupaten Bulungan Provinsi Kalimantan Utara. *Jurnal Pendidikan Tambusai*. 6(3), pp.13688-13693. doi: 10.31004/jptam.v6i3.4492
- Lumbantoruan, S. M. et al. (2022) “Peranan Pupuk Hayati Mikoriza dan Azolla terhadap Tanaman Sorgum di Tanah Suboptimal,” *Jurnal Pertanian Agros*, 24(3), hal. 1329–1337. Tersedia pada: <https://e-journal.janabadra.ac.id/index.php/JA/article/view/2253/1518>.
- M. Isa Darmawijaya. (1990). *Klasifikasi Tanah: Dasar Teori Bagi Peneliti Tanah Dan Pelaksana Pertanian Di Indonesia*. Yogyakarta: UGM Press.
- Magdoff, F. (1993). *Building Soils for Better Crops*. In *Soil Science* (Vol. 156, Issue 5). <https://doi.org/10.1097/00010694-199311000-00014>
- Margolang, R. D., Jamilah., & Sembiring, M. (2015). Karakteristik Beberapa Sifat Fisik, Kimia, dan Biologi Tanah Pada Sistem Pertanian Organik. *Jurnal Agroekoteknologi*, 3(2), pp. 717-723. doi: 10.32734/jaet.v3i2.10358
- Marqués-Mateu, Á., Moreno-Ramón, H., Balasch, S., Ibáñez-Asensio, S. (2018) “Quantifying the uncertainty of soil colour measurements with Munsell charts using a modified attribute agreement analysis”. *Catena*, 171, 44-53.
- Matheus, R.(2019) *Skenario Pengelolaan Sumber Daya Lahan Kering Menuju Pertanian Berkelanjutan*. Yogyakarta: Deepulish Publisher.
- McBride, R. A., Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2008). Soil consistency: upper and lower plastic limits. *Soil sampling and methods of analysis*. CRC Press, Boca Raton, FL, 761-781.
- McNear, D. H. (2013) “The Rhizosphere-Roots, Soil and Everything In Between Meeting the Global Challenge of Sustainable Food, Fuel and Fiber Production,” *Nature Education Knowledge*, 4(3), hal. 1. Tersedia pada: <http://cse.naro.affrc.go.jp>.
- Mohr, E.C.J., Van Baren, F.A., dan Schuylenborgh, J. Van. 1972. *Tropical Soils. A Comprehensive Study of Their Genesis*. Trop. Soils. A Compr. Study Their Genesis. :Ed. 3.
- Mul Mulyani Sutedjo. (2002). *Pengantar Ilmu Tanah*. Jakarta: Rineka Cipta.

- Mulyani A, Sarwani M. (2013). Karakteristik dan potensi lahan sub optimal untuk pengembangan pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 7(1), 47-55. 3(2).
- Munsell Color. (2000) "Munsell Soil Color Charts". Revised Edition. Pennsylvania State University. State College, PA 16801, United States.
- Musbau, S. A. dan Ayinde, B. H. (2021) "Micro and Macro (Organisms) and Their Contributions to Soil Fertility," *Frontiers in Environmental Microbiology*, 7(2), hal. 44–56. doi: 10.11648/j.fem.20210702.11.
- Nabil, F. (2013). *Morfologi Tanah dan Klasifikasi Tanah*. Bandung: foto:smno.kampus.ub.
- Najiyati, S., Muslihat., Nyoman. dan Suryadiputra, N. (2005). *Panduan Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pertanian Berkelanjutan*. Proyek Climate Change, Forests and Peatlands in Indonesia. Wetlands International Indonesia Programme dan Wildlife Habitat Canada. Bogor. Indonesia.
- Nelson, D. W. and Sommer, L. E. (1982) 'Total Carbon, Organic Carbon, and Organic Matter', in Page, A. L. (ed.) *Method of soil analysis*. Second. Madison, Wisconsin, pp. 539–577.
- Nurhayati, M., L, S. G., Nugroho., R., Saul., M. Amin, Go Bang Hong dan Nyakpa. (1984). *Dasar - dasar Ilmu Tanah*. Koordinator Badan Kerja Sama Ilmu Tanah BKS-PTN USAID University of Kentucky.
- Olsen, S. R. and Sommer, L. E. (1982) 'Phosphorus', in Page, A. . (ed.) *Method of soil analysis*. Second. Madison, Wisconsin, pp. 403–427.
- Owens, P.R dan Libohova, Z. (2022) "Soil morphology., in Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences". <https://www.sciencedirect.com/referencework/9780124095489/earth-systems-and-environmental-sciences>. Diakses pada tanggal 25 September 2023.
- Paulina, M. dan Lumbantoruan, S. M. (2022) "Respon pertumbuhan dan hasil tanaman jagung manis (*Zea mays* L. Saccharata) terhadap biochar dan fungi mikoriza arbuskula di lahan pesisir," *Jurnal Pertanian Agros*, 24(1), hal. 193–201.
- Paulina, M., Mansur, I. dan Junaedi, A. (2018) "Tanggap Pertumbuhan Aren (*Arenga Pinnata* (Wurm) Merr.) Diinokulasi dengan Fungi Mikoriza

- Arbuskula terhadap Pengapuran di Lahan Pasca Tambang Batubara,” *Jurnal Silvikultur Tropika*, 9(3), hal. 196–204. doi: 10.29244/j-siltrop.9.3.196-204.
- Pengajar, S., Teknik, J., Politeknik, S., & Sriwijaya, N. (2011). 159146-ID-drainase-untuk-meningkatkan-kesuburan-la. 6(2), 39–44.
- Permatasari, N.A. et al. Identifikasi Beberapa Sifat Kimia Tanah Gambut pada Kebun Kelapa Sawit Rakyat di Desa Rasau Jaya II Kabupaten Kubu Raya. *Agritech*, 23(2), pp. 199-207. doi: 10.30595/agritech.v23i2.12616.
- Priandana, K., Zulfikar, A. S., Sukarman.(2014) “Mobile Munsell Soil Color Chart Berbasis Android Menggunakan Histogram Ruang Citra HVC dengan Klasifikasi KNN”. *Jurnal Ilmu Komputer Agriinformatika*. 3 (2): 93–101.
- Prof. Dr. Ir. Mochtar Lutfi Rayes, M. (2017). *Morfologi dan Klasifikasi Tanah*. Malang: UB. Press.
- Prusty, B. A. K. dan Azeez, P. A. (2005) “Humus: The Natural Organic Matter in the Soil System,” *J. Agril. Res. & Dev*, 1, hal. 1–12. Tersedia pada: https://www.academia.edu/7438566/Humus_The_Natural_Organic_Matter_in_the_Soil_System.
- Puja, N. (2016). *Bahan Ajar Fisika Tanah*. Fakultas Pertanian Universitas Udayana. Denpasar.
- Purba, T. et. al. (2021) “Tanah dan Nutrisi Tanaman”. Sumatera Utara: Yayasan Kita Menulis.
- Queensland Government. (2023, July 4). Environment, Land and Water. Dipetik October 10, 2023, dari Soil Properties: <https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/soil-properties/ph-levels>
- Rachman, L.M., Hazra, F., and Anisa, R. (2020). Penilaian Terhadap Sifat-sifat Fisika dan Kimia Tanah Serta Kualitasnya Pada lahan Sawah Marjinal. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 7(2), pp. 225-236. doi: 10.21776/ub.jtsl.2020.007.2.6.
- Raulino, G. T., Oliveira, L., Nascimento, I.V., da Silva, C., Lobato, M., Alencar, T.L., Toma, R.S., da Silva, F.G., dan Mota, J.C.A. (2021) “Assessing the

- soil color by traditional method and a smartphone: a comparison”. *Revista de Ciencias Agrícolas*. 38(1): 75-85.
- Republik Indonesia. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 20 Tahun 2007 tentang Pedoman Teknis Analisis Aspek Fisik dan Lingkungan, Ekonomi, serta Sosial Budaya dalam Penyusunan Rencana Tata Ruang 2007.
- Ritung, S., Wahyunto., Agus, F., Hidayat, H. (2007). *Panduan Evaluasi Kesesuaian Lahan dengan contoh Peta Arahana Penggunaan Lahan Kabupaten Aceh Barat*. Bogor: Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre.
- Riwandi. (2001). *Kajian Stabilitas Gambut Tropika Indonesia Berdasarkan Analisis Kehilangan Karbon Organik, Sifat Fisiko Kimia, dan Komposisi Bahan Gambut*. [Disertasi]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Sachidanand, B. et al. (2019) “Soil as a Huge Laboratory for Microorganisms,” *Agriculture Research and Technology*, 22(4), hal. 113–138. doi: 10.19080/ARTOAJ.2019.22.556205.
- Salam, A. K. (2020) *Ilmu Tanah*. 2 ed, Globalmadani Press. 2 ed. Bandar Lampung: Globalmadani Press.
- Salam, A. K. (2020). *Ilmu Tanah*. Bandar Lampung: Global Madani Press.
- Sameh K. Abd-Elmabod, ... Diego de la Rosa. (2017). *Modeling Agricultural Suitability Along Soil Transects Under Current Conditions and Improved Scenario of Soil Factors*. *Soil Mapping and Process Modeling for Sustainable Land Use Management*. <https://www.sciencedirect.com/topics/earth-and-planetary-sciences/soil-drainage>
- Sarief E. Saifuddin. (1986). *Ilmu Tanah Pertanian*. Bandung: Pustaka Buana.
- Sarwani, M. et al. (2011) ‘Assessment Institute for Agricultural Technology (AIAT) Dissemination : Innovative Idea on Locally Specific Technology Transfer Diseminasi inovasi sebagai salah satu mandat utama’, *Analisis Kebijakan Pertanian*, 9(1), pp. 73–89.
- Sasli, I. (2011). Karakterisasi gambut dengan berbagai bahan amelioran dan pengaruhnya terhadap sifat fisik dan kimia guna mendukung produktivitas lahan gambut. *Agrovigor*, 4(1), pp. 42-50.

- Sayekti, R., & Mardianto, M. (2019). *Perpustakaan Digital: Mengukur Penerimaan Inovasi Teknologi*.
- Septyani, I. A., & Harahap, F. S. (2022). Pengaruh Co-Compost Biochar dalam Meningkatkan Ketersediaan Hara dan Pertumbuhan Tanaman Padi. 1, hal. 133-144.
- Septyani, I. A., Yasin, S., & Gusmini. (2019). Utilization of Sugarcane Filter Press Mud Compost as Organic Fertilizer for Improving Chemical Properties of Ultisols and Oil Palm Seddlings. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 647-653.
- Septyani, I. A., Yasin, S., & Gusmini. (2020). Pemanfaatan Blotong dan Pupuk Sintetik dalam Memperbaiki Sifat Kimia Ultisol dan Pertumbuhan Bibit Kelapa Sawit. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 21-30.
- Sharma, M., Dangi, P. dan Choudhary, M. (2014) "Actinomycetes: Source, Identification, and Their Applications," *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 3(2), hal. 801–832.
- Simon, T.; Zhnag, Y.; Hartemink, A. E.; Huang, J.; Water, C.; Yost, J.L. (2020) "Predicting the color of sandy soils from Wisconsin, USA". *Geoderma*. 361:165-174
- Singh, S., Chaudhary, D. dan Verma, S. K. (2023) "Soil Microorganism and their Role," *The Agriculture Magazine*, 2(3), hal. 179–182.
- Sismiyanti, S., Hermansah, H. dan Yulnafatmawita, Y. (2018) "Klasifikasi Beberapa Sumber Bahan Organik dan Optimalisasi Pemanfaatannya Sebagai Biochar," *Jurnal Solum*, 15(1), hal. 8–16. doi: 10.25077/jsolum.15.1.8-16.2018.
- Sitanala Arsyad, (2012). *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Skaggs, T. H., and Leij, F. J. (2002). Solute transport. In: Dane, J. H., and Topp, G. C., eds. "Methods of Soil Analysis, Part 4: Physical Methods." Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Skopp, J. M. (2002). Physical properties of primary particles. In: Warrick, A. W., ed., "Soil Physics Companion." CRC Press, Boca Raton, FL.
- Skorka, O. dan Dileepan, J. (2011) "Toward a digital camera to rival the human eye". *Journal of Electronic Imaging*. 20(3).
- Smno.jursntnh.fpub. (2014). *Profil Tanah*. Smno.jursntnh.fpub.

- Sowers, G. F. (1965). Consistency. *Methods of Soil Analysis: Part 1 Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling*, 9, 391-399.
- Stiglitz, R., Mikhailova, E., Post, C., Schlautman, M., dan Sharp, J. (2016) "Evaluation of an inexpensive sensor to measure soil color". *Computers and Electronics in Agriculture*. 121: 141-148.
- Stiglitz, R., Mikhailova, E., Post, C., Schlautman, M., Sharp, J., Pargas, R., Glover, B., dan Mooney, J. (2017) "Soil color sensor data collection using a GPS-enabled smartphone application". *Geoderma*. 296: 108-114.
- Strain, B.R. (1985). Physiological and ecological controls on carbon sequestering in ecosystems. *Biogeochem* 1:219–232.
- Strzepek, K. M., Marks, D. H., Wilson, J. L., & Grossman, D. S. (1980). Planning and design of agricultural drainage systems under uncertainty. *IFAC Proceedings Volumes*, 13((eds.), Oxford, U.K., Pergamon Press Ltd., 1980, Session T1P, pp.243-252. (ISBN 0-08-027307-6)), 243–252. [https://doi.org/10.1016/s1474-6670\(17\)65077-8](https://doi.org/10.1016/s1474-6670(17)65077-8)
- Subardja, D. dan Suryani, E. (2012). Klasifikasi dan Distribusi Tanah Gambut Indonesia Serta Pemanfaatannya Untuk Pertanian. Dalam *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Sulistiyono NBE. (2000). Peranan Kation Fe^{3+} terhadap produksi karbon dioksida dan metana dari gambut tropika pada inkubasi aerob dan anaerob. [Tesis]. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor
- Surahmat dan Agus Miftakhurrohmat. (2019). *Kesuburan Tanah*. Sidoarjo: Umsida Press.
- Survey Staff, S. (1999). *Soil Taxonomy A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys* United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service.
- Syachroni, S. H. (2019). Kajian Beberapa Sifat Kimia Tanah Pada Sawah di Berbagai Lokasi di Kota Palembang. *Sylva*, 8(2), pp. 60-65. doi: 10.32502/sylva.v8i2.2697.
- Syamsudin. (2012). *Fisika Tanah – Buku Ajar*. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Hasanuddin. Makassar.

- Taha, N. M. dan El-Shahat, R. M. (2017) "Influence of Azolla, Some Blue Green Algae Strains and Humic Acid on Soil, Growth, Productivity, Fruit Quality and Storability of 'Canino' Apricot Cultivar Grown Under Clay Loamy Soil," *Journal of Plant Production*, 8(1), hal. 1–11. doi: 10.21608/jpp.2017.37461.
- Tan, K. H. (1998). *Dasa-Dasar Kimia Tanah*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Taufiq A., Sundari, T. (2012). Respons Tanaman Kedelai Terhadap Lingkungan Tumbuh. *Buletin Palawija*. 23, 13-26.
- Thies, J. dan Grossman, J. (2006) "The Soil Habitat and Soil Ecology," in *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*, hal. 59–78. doi: 10.1201/9781420017113.ch5.
- Torrent, J., dan Barrón, V. (1993) "Laboratory measurement of soil color: Theory and practice". *SSSA Special Publication (Soil Science Society of America)*. 21-33.
- Umatermate, G. R., Abidjulu, J. and Wuntu, A. D. (2014) 'Uji Metode Olsen dan Bray dalam Menganalisis Kandungan Fosfat Tersedia pada Tanah Sawah di Desa Konarom Barat Kecamatan Dumoga Utara', *Jurnal MIPA*, 3(1), p. 6. doi: 10.35799/jm.3.1.2014.3898.
- USDA [United State Department of Agriculture]. (2022) "Color of Soil" <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-11/color-of-soil.pdf>. Diakses pada tanggal 29 September 2023.
- Utomo, M., Sabrina, T., Sudarsono, Lumbanraja, J., Rusma, B., & Wawan. (2016). *Ilmu Tanah Dasar-Dasar dan Pengelolaan*. Jakarta: Prenada Media Group.
- Walworth, J. L. (2006) 'Soil Sampling and Analysis', Arizona Cooperative Extension, pp. 1–5. Available at: <http://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1412.pdf>.
- Warr, B. (2015) "Soil Color". <https://www.researchgate.net/publication/283664586>. DOI: 10.13140/RG.2.1.1774.5364
- Wawan. (2018). *Pengelolaan Bahan Organik*. Pekanbaru: Universitas Riau.

- Weil, R. R. (2016). *The Nature and Properties of Soil*. Columbus: Pearson Education, Inc. or its affiliates.
- Wilman Tolaka, Wardah, & Rahmawati. (2013). *SIFAT FISIK TANAH PADA HUTAN PRIMER, AGROFORESTRI DAN KEBUN KAKAO DI SUBDAS WERA SALUOPA DESA LEBONI KECAMATAN PAMONA PUSELEMBA KABUPATEN POSO (Vol. 1)*.
- Wirosoedarmo, R. (2017). *Irigasi Pertanian Bertekanan*. Universitas Brawijaya Press.
- Yan, J., Lazouskaya, V., & Jin, Y. (2016). Soil Colloid Release Affected by Dissolved Organic Matter and Redox Conditions. *Vadose Zone Journal*.
- Yimer, E. A., Riakhi, F. E., Bailey, R. T., Nossent, J., & van Griensven, A. (2023). The impact of extensive agricultural water drainage on the hydrology of the Kleine Nete watershed, Belgium. *Science of the Total Environment*, 885(January), 163903. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163903>
- Yuniarti, Solihin, & Putri. (2020). Aplikasi pupuk organik dan N, P, K terhadap pH tanah, P-tersedia, serapan P, dan hasil padi hitam (*Oryza sativa L.*) pada inceptisol. *Jurnal Kultivasi*, 1040-1046.

Biodata Penulis



Mursyid lahir di Sidodadi, pada 28 Desember 1980. Tercatat sebagai lulusan Universitas Hasanuddin. Anak dari pasangan Nadjamuddin Saleh (ayah) dan Marnah Pase (ibu). Saat ini bertugas di Dinas Perikanan dan Pertanian Kota Makassar, menjadi pendamping bagi pengembangan urban farming di Kota Makassar, juga sebagai dosen tamu pada Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar Program Studi S2 Agribisnis, Ilmu Lingkungan dan Agroteknologi.



Arniana Anwar. Lahir di Bone pada 3 September 1989. Saat ini merupakan seorang dosen di Fakultas Kehutanan, Universitas Papua. Sebelumnya pada tahun 2012 menyelesaikan pendidikan S1 Program Studi Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata di Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor. Selanjutnya di tahun 2015 menyelesaikan S2 juga di Fakultas Kehutanan IPB dengan program studi Silvikultur Tropika.

Mengampu mata kuliah Silvikultur Hutan Alam, Silvikultur Hutan Tanaman, dan juga Bioteknologi Kehutanan. Selama ini terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa bidang Silvikultur atau Budidaya Kehutanan. Penulis juga aktif dalam kegiatan penelitian dan pengabdian masyarakat.

E-mail: anwaramiana39@gmail.com



Dr. Ir. Adriani S A Siahaan, MP lahir di Medan pada 14 November 1964 anak pertama dari enam bersaudara Ayah Drs. Somba Maurits Siahaan, MSc dengan Ibu Deliana L Tobing. Lulusan Sarjana, Magister dan Doktoral bidang Agroteknologi Pertanian dari Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara. Saat ini aktif mengajar di Fakultas Pertanian Universitas Sisingamangaraja XII Tapanuli di Silangit Tapanuli Utara. Materi pengajaran Ilmu Tanah salah satu yang dipersiapkan disamping Teknologi Benih , Tanaman Hortikultura dan Tanaman Kopi berikut tanaman konservasi lainnya. Siap berkarya dalam penelitian dan pengabdian untuk menghasilkan tulisan yang berguna bagi petani dan

Masyarakat.

Email : adrianisiahaan@yahoo.com



Iswahyudi lahir di Bireuen Provinsi Aceh pada tanggal 2 Juni 1979. Anak dari Abi (Alm) Ismail Ahmad dan Umi Saidar H. Abubakar. Penulis menikah dengan Nurlailita, SP., M.Si dan memiliki seorang putra yang bernama Muhammad Eijaz Siddiq.

Saat ini penulis bekerja sebagai dosen di Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Samudra.

Jenjang pendidikan yang penulis tempuh sebagai berikut: Madrasah Ibtidaiyyah (MI) Almakmuriyyah Jakarta Selatan (1986-1992); Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 163 Jakarta Selatan (1992-1995); Sekolah Menengah Kejuruan Negeri (SMKN) 5 Jakarta Timur (1995-1998); Sarjana Pertanian/S-1, Program Studi Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Syiahkuala (1998-2004); Magister Sains/S2, Program Studi Ilmu Tanah, Sekolah Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor (2004-2008); dan Program Doktor/S3, Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana IPB Bogor (2013-2019).

Penulis aktif pada riset tentang ekosistem gambut dan ekosistem mangrove. Selain itu penulis juga terlibat dalam tim Penyusun Dokumen Lingkungan (UKL-UPL, AMDAL) untuk proyek-proyek yang bersumberdana dari pemerintah maupun dari pihak swasta.



Ania Citraresmini, saat ini tercatat sebagai seorang peneliti muda pada institusi riset Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) yang memulai karirnya sejak tahun 2000.

Awal karir sebagai peneliti dimulai saat BRIN masih bernama Badan Tenaga Nuklir Nasional. Latar belakang pendidikan S1 sebagai lulusan agronomi, diperkaya dengan pendidikan S2 dan S3 pada bidang Ilmu Tanah bidang fokus Kesuburan dan Nutrisi Tanaman. Peningkatan kapasitas sebagai peneliti dilakukan dengan menekuni aplikasi teknik nuklir untuk penelitian bidang Pertanian, dan terlibat dalam beberapa RAS Project yang dikoordinasi oleh IAEA (International Atomic Energy Agency) sebagai National Project Coordinator Indonesia.

Penulis juga adalah Dosen Luar Biasa pada Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Al-Azhar Indonesia, sejak tahun 2018 sampai dengan 2022, mengampu mata kuliah Biologi Radiasi. Sejak tahun 2023 ini penulis tercatat sebagai Dosen Luar Biasa pada Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Bandung, mengampu mata kuliah Kesuburan Tanah, Media Tanam, Pengelolaan Tanah dan Air, dan Dasar Kimia Tanah.

Pengalaman menulis buku pegangan “Teknik Nuklir dalam Penelitian Tanah dan Tanaman”, “Buku Juknis Biochar”, “Inovasi Teknologi IPAT-BO : hasil-hasil penelitian” yang digunakan dan beredar di kalangan sendiri.

Email : ania002@brin.go.id



Halus Satriawan. Saat ini adalah Lektor Kepala Bidang Konservasi Tanah dan Air di Universitas Almuslim Bireuen Aceh. Menamatkan pendidikan S1 di Program Studi Ilmu Tanah Universitas Mataram (2003), kemudian menyelesaikan pendidikan S2 di IPB (2007), dan pendidikan S3 di Program Studi Ilmu Pertanian (Minat Ilmu Tanah) pada tahun 2015 di USU Medan.

Mengampu mata kuliah Dasar-Dasar Ilmu Tanah, Konservasi Tanah dan Air, Kesuburan Tanah dan Pemupukan di Jenjang Sarjana dan Pengelolaan DAS di jenjang S2 (PSL) Universitas Almuslim.

Selama ini terlibat aktif sebagai dosen pembimbing mahasiswa, menjadi reviewer nasional di program Matching-Fund Kedaireka pada tahun 2022.

Telah menulis 3 Buku referensi dan 17 artikel penelitian di jurnal internasional bereputasi, dan belasan artikel publikasi lainnya di jurnal nasional.

E-mail: halussatriawan@umuslim.ac.id



Tioner Purba, Lahir pada tanggal 12 Mei 1973 di Persatuan Baru Kecamatan Panei Kabupaten Simalungun Sumatera Utara, merupakan Putri Keempat dari pasangan Bapak Jaralim Purba (+) dan Ibu Raulina Sinaga serta istri dari Manondang Situmorang. Dikaruniai anak 3 orang, dua putra (Daniel Sun Micho Situmorang dan Nathan Kajushi Samratima Situmorang) dan satu putri (Sefry Tiara Situmorang). Menyelesaikan pendidikan Sarjana Kehutanan di Jurusan Manajemen hutan Fakultas Pertanian Universitas Palangkaraya tahun 1997.

Gelar Magister Pertanian diperoleh pada tahun 2005 di Fakultas Pertanian Program Pascasarjana Universitas Sumatera Utara, menyelesaikan program doktor di Program Studi Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sumatera Utara dan lulus tahun 2017. Sejak tahun 2004 sampai sekarang mengabdikan sebagai dosen di Fakultas Pertanian Universitas Simalungun Pematangsiantar. Saat ini diberi tugas tambahan sebagai Ketua Lembaga Penelitian Universitas Simalungun.



Rini Fitri. Saat ini sebagai Dosen Tetap pada Program Studi Arsitektur lanskap, Fakultas Arsitektur Lanskap dan Teknologi Lingkungan Universitas Trisakti Jakarta. Pendidikan Program S1 di Ilmu Tanah Universitas Syiah Kuala Banda Aceh dan S2, S3 di bidang Ilmu Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) di IPB Bogor. Karir sebagai tenaga pendidik mulai sebagai dosen sejak tahun 2005 pada mata ajaran Ilmu Tanah, Agroforestri, Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Konservasi Lanskap dan Ekologi Lanskap

Selama ini penulis telah banyak melakukan penelitian berkenaan dengan konservasi tanah, lanskap agroforestri dan pengelolaan DAS serta telah di publikasi pada prosiding nasional maupun internasional, jurnal nasional dan jurnal bereputasi internasional.

E-mail: rini.fitri@triskati.ac.id



Dr. Junairiah, S.Si., M.Kes. lahir di Surabaya pada tanggal 14 Juli 1971. Pendidikan S1 ditempuh di Departemen Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor lulus tahun 1995. Pendidikan S2 di Program Studi Ilmu Kedokteran Dasar, Universitas Airlangga dan lulus tahun 2001. Pendidikan S3 Biologi di Program Studi S3 Biologi, Universitas Gadjah Mada, lulus tahun 2013. Penulis merupakan dosen Departemen Biologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga. Pada Program Studi S1 Biologi, penulis mengampu mata kuliah Taksonomi Tumbuhan, Morfologi Tumbuhan, Botani Ekonomi, dan

Fisiologi Tumbuhan. Pada Program Studi S2 Biologi, penulis mengampu mata kuliah Fisiologi Zat Tumbuh dan Biokimia Tanaman. Saat ini penulis menekuni penelitian tentang metabolit sekunder yang dihasilkan dari kultur *in vitro* serta aktivitas biologinya. Buku yang telah ditulis dan terbit adalah Keanekaragaman dan Potensi Piperaceae, Tumbuhan sebagai Bahan Antimikroba, Teknologi dan Produksi Benih, Dasar-dasar Perlindungan Tanaman, Tata Ruang Pertanian

Kota, Penyakit Tanaman dan Pengendaliannya, Tanah dan Nutrisi Tanaman, Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan, Dasar-Dasar Agronomi, Keanekaragaman Hayati, Virologi Tumbuhan, Dasar-Dasar Perlindungan Tanaman, Budidaya Tanaman Semusim dan Tahunan, Pengantar Perlindungan Tanaman, Budidaya Tanaman Pangan, Perbanyakkan Tanaman, Antimikroba Tanaman Lokal, Teknologi Budidaya Tanaman Hortikultura, Sistem Pertanian Berkelanjutan, Pengantar ilmu Tanaman, Agrobiosains.



Ika Ayu Putri Septyani, S.P, M.P. Penulis lahir di Perbaungan, pada 23 September 1997. Penulis menyelesaikan S1 di Universitas Andalas pada tahun 2018 di Program Studi Ilmu Fakultas Pertanian. Penulis melanjutkan studi S2 di Universitas Andalas pada Tahun 2017 pada program Fast Track dan diselesaikan pada Tahun 2019. Saat ini penulis mengabdikan sebagai Dosen Tetap di Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Labuhanbatu. Penulis menguasai beberapa mata kuliah ilmu tanah seperti Kesuburan tanah, Analisis Tanah dan Tanaman. Penulis juga memperoleh Hibah Dikti pada Tahun 2022 pada Penelitian Kompetitif Nasional skema Penelitian Dosen Pemula. Selain itu, penulis juga aktif menulis artikel di Jurnal terakreditasi Sinta dan Jurnal Internasional terindeks. Karya ilmiah terbaru penulis adalah “Pengaruh Co-Compost Biochar dalam Meningkatkan Ketersediaan Hara dan Pertumbuhan Tanaman Padi (*Oryza sativa*) di Tanah Sawah Intensif” yang diterbitkan pada Jurnal Tanah dan Iklim terakreditasi Sinta 2. Selain itu, penulis juga menulis Buku Kesuburan dan Pemupukan. Pada Buku ini, penulis Bab 10 tentang Sifat Kimia Tanah.



Maria Paulina, SP., M.Si dilahirkan pada tahun 1991 silam. Saat ini penulis bekerja di Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Bengkulu. Penulis menamatkan program Sarjana di Universitas Bengkulu dan program Magister di Institut Pertanian Bogor. Penulis aktif menulis buku referensi di Penerbit Yayasan Kita Menulis. Buku Sifat dan Morfologi Tanah merupakan buku referensi ke-5 yang ditulis setelah buku Kesuburan dan Pemupukan Tanah, Mikroorganisme Pelarut Fosfor pada Pertanian Berkelanjutan, Pemuliaan Tanaman, dan Sistem Pertanian Berkelanjutan.



Taufiq Bachtiar. Penulis menyelesaikan Pendidikan Program S1 Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian di Universitas Padjadjaran dan Sekolah Pascasarjana S2 Bioteknologi Tanah dan Lingkungan di Institut Pertanian Bogor. Saat ini Ia adalah peneliti muda di Kelompok Riset Keberlanjutan Sumberdaya Lingkungan, Pusat Riset Lingkungan dan Teknologi Bersih, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN).

Sebelum bergabung dengan BRIN penulis merupakan peneliti di Kelompok Pemupukan dan Nutrisi Tanaman Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN). Fokus penelitiannya adalah mempelajari hubungan tanah dan tanaman dengan memanfaatkan teknologi isotop dan radiasi. Selama ini terlibat sebagai peneliti yang aktif bekerjasama dengan beberapa universitas di dalam dan luar negeri dan juga lembaga IAEA dan FAO.

Penulis juga terlibat aktif dalam beberapa kegiatan penelitian bersama yang diinisiasi oleh Soil and Water Management and Crop Nutrition Section IAEA. Telah menulis lebih dari 30 jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional.

E-mail: tauf012@brin.go.id

Sifat dan Morfologi Tanah

Sebuah buku yang membahas seputar tanah sebagai sebuah komponen penting dalam kehidupan manusia, terutama secara khusus tinjauan terhadap tanah sebagai bagian tak terpisahkan dari sektor pertanian.

Buku ini memuat secara ringkas namun cukup komprehensif seputar tanah khususnya dalam fungsinya sebagai media pertumbuhan tanaman. Mencakup konsep tanah, batasan-batasan, tekstur dan konsistensi, sifat dan morfologi serta seputar eksperimen berkaitan dengan tanah.

Secara rinci buku ini memuat 12 tulisan dengan judul masing-masing bab sebagai berikut:

Bab 1 Pengertian Dan Manfaat Tanah

Bab 2 Pentingnya Mengetahui Sifat Dan Morfologi Tanah

Bab 3 Batas - Batas Horison Tanah

Bab 4 Warna Tanah

Bab 5 Tekstur Dan Struktur Tanah

Bab 6 Konsistensi Tanah

Bab 7 Drainase Tanah

Bab 8 Aerasi Tanah

Bab 9 Kematangan Tanah

Bab 10 Sifat Kimia Tanah

Bab 11 Sifat Biologi Tanah

Bab 12 Pengambilan Sampel Dan Analisis Tanah



YAYASAN KITA MENULIS
press@kitamenulis.id
www.kitamenulis.id

