

DASAR ILMU TANAH



PENULIS :

**Uska Peku Jawang Muh. Ansar Abdi Suprayitno
Indra Permana Halisah Suriani Bambang Hariyanto
Edy Syafril Hayat Efrinda Ari Ayuningtyas**



DASAR ILMU TANAH

**Uska Peku Jawang
Muh. Ansar
Abdi Suprayitno
Indra Permana
Halisah Suriani
Bambang Hariyanto
Edy Syafril Hayat
Efrinda Ari Ayuningtyas**



GET PRESS INDONESIA

DASAR ILMU TANAH

Penulis : Uska Peku Jawang

Muh. Ansar

Abdi Suprayitno

Indra Permana

Halisah Suriani

Bambang Hariyanto

Edy Syafril Hayat

Efrinda Ari Ayuningtyas

ISBN : 978-623-125-280-7

Editor : Mila Sari, M.Si.

Penyunting: Yuliatrini Novita, M.Hum.

Desain Sampul dan Tata Letak : Tri Putri Wahyuni, S.Pd.

Penerbit: GET PRESS INDONESIA

Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat

website: www.getpress.co.id

email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Juli 2024

Hak cipta dilindungi undang-undang
Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk
dan dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulisan buku dengan Judul Dasar Ilmu Tanah dapat diselesaikan dengan baik atas kerjasama tim penulis. Buku ini disusun dengan tujuan memberikan pemahaman mengenai ilmu tanah kepada para pembaca, khususnya mahasiswa, akademisi, dan praktisi di bidang pertanian dan lingkungan. Ilmu tanah merupakan salah satu cabang ilmu yang sangat penting dalam memahami berbagai aspek ekosistem daratan. Buku ini membahas berbagai konsep dasar dan penerapan ilmu tanah, yang diharapkan dapat menjadi referensi yang berguna dalam mempelajari sifat-sifat tanah, proses pembentukannya, serta peranan tanah dalam mendukung kehidupan.

Buku ini masih banyak kekurangan dalam penyusunannya. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran demi perbaikan dan kesempurnaan buku ini selanjutnya. Kami mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Buku ini. Semoga Buku ini dapat menjadi sumber referensi dan literatur bagi Perguruan Tinggi yang mudah dipahami.

Padang, Mei 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Ruang Lingkup Ilmu Tanah	3
1.3 Definisi Tanah.....	6
DAFTAR PUSTAKA.....	9
BAB 2 PROFIL TANAH	11
2.1 Pendahuluan	11
2.2 Batuan sebagai asal mula tanah	11
2.3 Proses Pembentukan Tanah	12
2.4 Profil Tanah	13
DAFTAR PUSTAKA.....	16
BAB 3 SIFAT FISIK TANAH	17
3.1 Pendahuluan	17
3.2 Tekstur Tanah	18
3.3 Berat Tanah	21
3.4 Porositas Tanah	24
3.5 Struktur dan Agregat Tanah	26
3.6 Warna Tanah	28
DAFTAR PUSTAKA.....	30
BAB 4 SIFAT KIMIA TANAH	31
4.1 Pendahuluan	31
4.2 Kemasaman Tanah	32
4.2 Koloid Tanah.....	35
4.3 Kapasitas Tukar Kation	39
4.4 Kejenuhan Basa	42
4.5 Unsur Hara Mineral.....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	52

BAB 5 PERANAN MINERAL DI DALAM TANAH.....	55
5.1 Pendahuluan	55
5.2 Klasifikasi Kandungan Mineral dan Ketersediaan Tumbuhan	56
5.3 Peran Nutrisi Mineral dalam Fisiologi Tumbuhan	61
DAFTAR PUSTAKA	66
BAB 6 BAHAN ORGANIK TANAH (SUMBER, PROSES DAN PERANAN BAHAN ORGANIK TANAH)	67
6.1 Pendahuluan	67
6.2 Karakteristik Bahan Organik Tanah	70
6.3 Tipe Bahan Organik Tanah.....	72
6.4 Pembentukan Bahan Organik Tanah	75
6.5 Peranan Bahan Organik Tanah Terhadap Sifat Tanah	83
6.6 Peranan Bahan Organik Tanah Terhadap Fungsi Tanah	84
6.7 Hubungan Bahan Organik Tanah dengan Sifat Tanah.....	86
6.8 Peranan Bahan Organik Tanah Terhadap Kesuburan Tanah dan Produksi Tanaman.....	89
6.9 Manajemen Bahan Organik Tanah	92
DAFTAR PUSTAKA	95
BAB 7 PERBAIKAN / REMEDIASI LAHAN AKIBAT DEGRADASI/ KERUSAKAN TANAH.....	101
7.1 Pendahuluan	101
7.2 Definisi dan Konsep Dasar Mengenai Degradasi/Kerusakan Tanah	103
7.3 Penyebab degradasi tanah dan dampaknya terhadap lingkungan dan kehidupan manusia	104
7.4. Metode dan teknik dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi kerusakan/ degradasi tanah	108
7.5 Pendekatan dan strategi perbaikan/ remediasi lahan yang efektif	109
7.6 Teknik rehabilitasi tanah seperti pengolahan tanah, pemupukan, dan pengendalian erosi.....	113
7.7 Studi kasus tentang perbaikan dan remediasi lahan di berbagai wilayah dan kondisi	116

DAFTAR PUSTAKA..... 120

BAB 8 EROSI DAN KONSERVASI LAHAN..... 133

8.1 Permasalahan Erosi Global 133

8.2 Dampak Erosi 135

8.3 Jenis-jenis Erosi dan Tahapannya 138

8.4 Gerak Massa Batuan (*mass wasting*) 143

8.5 Prinsip Konservasi Lahan 148

DAFTAR PUSTAKA..... 165

BIODATA PENULIS

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1. Proporsi Tanah Ideal.....	17
Gambar 3. 2. Sieve Shaker.....	19
Gambar 3. 3. Diagram Segitiga Tekstur Tanah	20
Gambar 3. 4. Tahapan Pemisahan Partikel Berdasarkan Ukuran Butir	22
Gambar 3. 5. Perbandingan tanah yang mengalami kompaksi.....	23
Gambar 3. 6. Soil Munsell Color Chart 5YR.....	29
Gambar 4. 1. Hubungan nilai pH dan ketersediaan unsur hara.....	34
Gambar 4. 2. Bentuk geometrik tetrahedron (a) dan oktahedron (b)	37
Gambar 4. 3. Struktur mineral liat tipe 1:1 (A) dan tipe 2:1 (B)	38
Gambar 4. 4. Mineral, bahan organik dan permukaan pertukaran pada akar di dalam tanah.....	41
Gambar 4. 5. Muatan negatif koloid tanah dan pengikatan kation....	43
Gambar 4. 6. Hubungan antara pH tanah dan kejenuhan basa.....	44
Gambar 6. 1. Tahapan proses proteolysis	69
Gambar 6. 2. Konsep model dua jalur pembentukan bahan organik tanah dari dekomposisi tanaman di atas tanah.....	78
Gambar 6. 3. Fungsi bahan organik tanah dan interaksi antara 3 fungsi bahan organik tanah (fungsi biologis, fungsi fisik dan fungsi kimia).	81
Gambar 6. 4. Hubungan antara sifat mineral, cadangan bahan organik tanah, sifat bahan organik tanah, sifat tanah, fungsi tanah, dan hasil-hasil utama.	83
Gambar 7. 1. Upaya peningkatkan kesuburan tanah dengan aplikasi biokompos pada tumpang sari jagung-kedelai di lahan gambut.....	114
Gambar 7. 2. Pertumbuhan Kedelai akibat aplikasi biochar sekam padi dan bokashi pupuk kandang burung puyuh di tanah Alluvial	115
Gambar 8. 1. Tahapan degradasi lahan di DAS Houay Pano, Laos Utara, dari kondisi awal 40 tahun yang lalu	137
Gambar 8. 2. <i>Splash Erosion</i>	138
Gambar 8. 3. Pedestal Hasil Erosi Percik.....	139

Gambar 8. 4. <i>Sheet Erosion</i> atau <i>Inter-Rill Erosion</i>	140
Gambar 8. 5. <i>Rill Erosion</i>	142
Gambar 8. 6. Perbedaan komponen geser dan normal dari gaya gravitasi pada lereng dengan kecuraman yang berbeda.....	144
Gambar 8. 7. Berbagai jenis gerak massa batuan (<i>mass wasting</i>)	147
Gambar 8. 8. Penerapan Teras Bangku	158
Gambar 8. 9. Contoh Teras Bangku Berbatu di Gunungkidul, DIY	160
Gambar 8. 10. Penerapan Teras Guludan	161
Gambar 8. 11. Penerapan Teras Individu (a) dan Teras Kebun (b) ..	162
Gambar 8. 12. Penerapan Rorak.....	164

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Ukuran Butir Tanah.....	19
Tabel 4. 1. Nilai KTK Mineral dan Bahan Organik Tanah	42
Tabel 4. 2. Daftar unsur hara makro dan mikro, mobilitas dan gejala defisiensinya.....	45
Tabel 4. 3. Peran unsur hara makro primer dan sekunder bagi tanaman.....	48
Tabel 4. 4. Peran unsur hara mikro bagi tanaman	50
Tabel 5. 1. Komponen-komponen penting tanaman tingkat tinggi	58
Tabel 5. 2. Peran unsur hara makro dan bentuk tersedia bagi tanaman.....	62
Tabel 5. 3. Bentuk dan fungsi- unsur- hara- mikro yang tersedia- bagi- tanaman-	64
Tabel 6. 1. Laju tahunan kembalinya residu tanaman ke tanah.	68
Tabel 6. 2. Rasio C/N dari beberapa bahan organik (serasah tanaman yang baru jatuh ke tanah, pupuk kandang) dan tanah.	70
Tabel 6. 3. Karakteristik bahan organik tanah.	71
Tabel 6. 4. Tipe fraksi bahan organik tanah dan pemanfaatannya untuk karbon tanah.....	73
Tabel 8. 1. Tindakan Pengendalian Erosi dan Longsor di DAS	155
Tabel 8. 2. Teknik Konservasi Tanah pada Ragam Kondisi Biofisik.....	159

BAB 1

PENDAHULUAN

Oleh Uska Peku Jawang

1.1 Pendahuluan

Tanah merupakan sumber daya penting bagi makhluk hidup, sehingga mempelajari ilmu tentang tanah sangat perlu dilakukan agar dapat digunakan dengan baik untuk memenuhi kebutuhan manusia dan makhluk hidup lainnya. Utomo dkk (2016) tanah adalah sumber daya penting bagi kehidupan makhluk hidup, sebab tanah dapat menyediakan air, udara dan nutrisi yang dibutuhkan oleh makhluk hidup seperti organisme tanah dan tumbuhan. Lehmann (2020) tanah merupakan ekosistem penting dalam menopang kehidupan tanaman, hewan, microorganisme dan manusia.

Pengaruh tanah sangat tinggi terhadap kehidupan manusia, terlihat dari berbagai kasus terjadi akibat pengelolaan sumber daya tanah (SDT) yang tidak sesuai dimasa lampau. Dengan demikian para ilmuwan tanah dengan melakukan berbagai diskusi-diskusi untuk dapat mengungkapkan hubungan tanah terhadap lingkungan. Tulisan mengenai tanah telah dilakukan dan dipublikasikan untuk memberikan gambaran secara utuh mengenai tanah sebagai sumber daya yang sangat berpengaruh terhadap kehidupan manusia. Tujuan pengetahuan ilmu tanah dalam bidang pertanian, guna memberikan gambaran tentang tanah sebagai sumber media tumbuh bagi tanaman. Lehmann (2020) para ilmuwan tanah perlu menyampaikan secara komprehensif mengenai tanah terkhususnya kesehatan tanah guna menjaga keberlanjutan

lingkungan. Utomo dkk (2016) peran penting tanah dapat juga tercermin dalam pandangan agama-agama di dunia. Tanah memiliki keterkaitan terhadap peradaban kuno kehidupan manusia.

Pada awalnya pengetahuan tentang tanah hanya untuk bidang pertanian saja, seiringnya waktu ilmu tentang tanah juga mulai digunakan dalam keteknikan maupun dalam pelestarian lingkungan. Pengetahuan akan tanah sangat penting dipelajari guna pengelolaan SDT sesuai dengan kebutuhan serta adanya keberlanjutan. Manusia memiliki pandangan yang berbeda terhadap tanah bergantung pada fungsi dari tanah itu sendiri. Pada ilmu tanah itu sendiri dibedakan dua bagian ilmu berdasarkan pendekatannya yaitu pedologi dan edapologi. Pedologi adalah ilmu yang menjelaskan tentang sifat dan karakteristik tanah serta pembentukannya. Sedangkan edapologi adalah ilmu tanah yang menjelaskan tentang tanah sebagai habitat organisme tanah dan media tumbuh bagi tanaman.

Tujuan dalam mempelajari ilmu tanah yaitu:

1. Mengetahui cara pengelolaan dan pelestarian yang baik dan benar
2. Mengetahui sifat-sifat tanah yang dapat mempengaruhi penggunaannya
3. Mengetahui hubungan sifat-sifat tanah
4. Mengetahui modifikasi tanah dalam memperbaiki kualitas untuk penggunaan tertentu.
5. Mengetahui hubungan tanah dan lingkungannya.

Pandangan terhadap tanah sangat beragam dipengaruhi oleh latar belakang setiap individu. Seorang ibu menyatakan tanah merupakan bahan pengotor pakaian, Petani menganggap tanah sebagai media tumbuh bagi tanaman, orang teknik bangunan menganggap tanah sebagai tempat berdirinya

bangunan dan bahan dengan nilai tinggi, seorang pelestari lingkungan tanah sebagai penyangga kehidupan lingkungan, seorang akademisi ilmu tanah, tanah sebagai media belajar untuk mengetahui sifat, karakteristik dan pengelolaannya.

Ilmu pengetahuan tanah sangat penting, pada buku ini dijelaskan tanah sebagai bagian dari geologi dan tanah sebagai media tumbuhan serta sebagai rumah bagi organisme tanah. Pada bab ini akan menjelaskan tentang ruang lingkup dan definisi dari tanah.

1.2 Ruang Lingkup Ilmu Tanah

Ruang lingkup dasar dalam mempelajari ilmu tanah yaitu dengan mengenal proses pembentukan tanah, faktor pembentuk tanah, sifat fisik tanah, sifat kimia tanah dan biologi tanah. Pengenalan dasar ini dapat memberikan pemahaman secara baik tentang tanah. Pengetahuan tentang tanah secara komprehensif dapat dipelajari dari sepuluh disiplin ilmu tanah dibawah ini:

1. Geologi dan Genesis Tanah

Merupakan cabang ilmu tanah yang menggambarkan proses pembentukan dan faktor pembentukan tanah. Proses pembentukan tanah melalui proses pelapukan yang dipengaruhi oleh faktor-faktor pembentuk tanah yaitu bahan induk, topografi, iklim, organisme dan waktu.

2. Genesis dan Klasifikasi Tanah

Merupakan cabang ilmu tanah yang menggambarkan tentang pengelompokan tanah berdasarkan sifat fisik, kimia dan biologi.

3. Fisika tanah

Merupakan cabang ilmu tanah yang menggambarkan proses fisik dari tanah yang diperoleh melalui pengukuran dan pengaturan fisik dalam tanah. Fisika tanah menggambarkan tentang kondisi, pergerakan, aliran dan transportasi benda kedalam tanah serta tranformasi energi dalam tanah.

4. Kimia Tanah

Merupakan cabang ilmu tanah yang menggambarkan tentang komposisi dan proses kimia yang terjadi didalam tanah. Kimia tanah menggambarkan tentang komposisi mineral, bahan organik dan faktor lingkungan dalam tanah. Dalam kimia tanah kita dapat mengenal unsur-unsur kimia yang terdapat dalam tanah dalam keadaan tersedia atau kurang sehingga dapat diperoleh rekomendasi pemupukan.

5. Ekologi Tanah

Merupakan cabang ilmu tanah yang menggambarkan tentang interaksi organisme dan lingkungannya. Dengan pengenalan akan ekologi tanah menunjukan proses dekomposisi bahan organik dalam tanah degan baik. Interaksi organisme didalam tanah menunjukan siklus unsur hara, pembentukan struktur tanah, dan keanekaragaman hayati dalam tanah.

6. Mineralogi Tanah

Cabang ilmu tanah yang menggambarkan tentang komposisi dan prilaku mineral dalam berinteraksi dengan unsur kimia, air dan organisme dalam tanah. Keadaan mineral dalam tanah menunjukan sifat-sifat tanah seperti struktur, tekstur dan kemampuan mengikat air.

7. Kualitas dan Kesuburan Tanah

Cabang ilmu tanah yang menggambarkan tentang kemampuan tanah dalam menyediakan unsur hara bagi tanaman. Pada bidang ini menggambarkan bagaimana tanah dapat menyokong kebutuhan organisme tanah, tanaman dan lingkungan

8. Teknologi Tanah

Cabang ilmu tanah yang menggambarkan tentang pemanfaatan teknologi dalam mengelola dan memahami sifat-sifat tanah dengan berbagai penggunaan. Penggunaan teknologi yaitu pengukuran kelembapan tanah, pengukuran tekstur, pengukuran pH dan sebagainya.

9. Konservasi Tanah dan Air

Merupakan salah satu cabang ilmu tanah yang menunjukan tentang upaya pelestarian dalam pengelolaan sumber daya tanah dan air demi keberlanjutan ekosistem. Pengetahuan konservasi tanah dan air guna merupakan teknik dalam mengurangi degradasi tanah, mengurangi terjadinya erosi serta mengurangi perubahan struktur tanah.

10. Survey dan Evaluasi Tanah

Cabang ilmu tanah yang menggambarkan tentang studi pengamatan tanah untuk menilai karakteristik serta kecocokan tanah untuk berbagai penggunaan serta menentukan strategi dalam pengelolaan tanah secara berkelanjutan

1.3 Definisi Tanah

Tanah sangat dikenal oleh semua orang, tetapi untuk menjelaskan tanah secara baik masih bigung, sebab pandangan tanah setiap orang berbeda bergantung pada kepentingan terhadap tanah. Misalnya seorang petani akan mendefenisikan tanah sebagai media tumbuh bagi tanaman yang dibudidayakan, sedangkan seorang teknik memandang tanah sebagai tempat mendirikan bangunan, serta seorang tukang batu bata dan genteng rumah memandang tanah sebagai bahan baku.

Secara harafiah bahwa tanah merupakan lapisan permukaan bumi yang terbentuk dari bahan induk material yang melalui proses yang sangat panjang yang dipengaruhi oleh udara, suhu, air, dan organisme. Melalui proses panjang terbentuklah tanah yang tersusun dari mineral dan bahan organik. Aditya & Wijayanti (2023) tanah adalah lapisan luar bumi yang dihasilkan dari proses pelapukan dalam jangka waktu yang lama sehingga adanya aktivitas biologi didalamnya.

Tanah sangat berperan terhadap kehidupan organisme di bumi, tanah menyediakan lingkungan hidup bagi organisme tanah, menyediakan hara bagi tanaman, produksi makanan (tumbuhan) bagi hewan dan manusia. Tanah merupakan sumber daya dasar yang dibutuhkan makluk hidup dalam memproduksi makanan, menyediakan udara, air, pengurai limbah organik. Notohadiprawiro (1998) Tanah merupakan benda yang bermanfaat bagi kehidupan manusia.

Pengertian tentang tanah dapat diperoleh dari dua pendekatan yaitu secara pedologi dan edapologi. Pendekatan pedologi menjelaskan tanah adalah lapisan permukaan bumi yang terbentuk dari bahan induk mineral melalui proses pelapukan yang dipengaruhi oleh keadaan iklim, topografi, dan organisme. Sedangkan dari pendekatan edafologi menjelaskan tanah sebagai media tumbuh bagi tumbuhan, dimana tanah

menyediakan unsur hara yang dibutuhkan untuk hidup bagi tumbuhan.

Berikut pemahaman beberapa ahli mengenai tanah, berdasarkan latar belakang setiap ahli:

1. J.J. Berzelius pada tahun 1803 seorang ahli kimia dengan menjelaskan bahwa tanah adalah laboratorium alam, dimana proses dekomposisi dan reaksi kimia berjalan secara tenang.
2. F. Fallon pada tahun 1855 seorang ahli geologi menjelaskan tanah adalah lapisan permukaan bumi yang terbentuk dari batuan-batuan melalui proses pelapukan.
3. V.V. Dokuchaev pada tahun 1879 seorang ahli geologi yang menjelaskan tanah dalam pendekatan pedologi, tanah adalah susunan mineral dan organik pada permukaan bumi dengan ditandai adanya humus sebagai hasil aktivitas dari organisme, topografi, iklim dan bahan induk.
4. A.D. Thaer pada tahun 1906 seorang ahli fisika tanah menjelaskan bahwa tanah merupakan bahan-bahan yang remah dan lepas.
5. Tornburry pada tahun 1957 seorang ahli geomorfologis menjelaskan tanah adalah bagian permukaan bumi dengan ditandai dengan kesejajaran permukaan, yang merupakan hasil proses fisik, kimia, maupun biologi dengan melalui proses interaksi dalam periode tertentu.
6. F. Marbut pada tahun 1927 seorang ahli geologi dengan pengembangan teori Dokuchaev menjelaskan bahwa tanah adalah lapisan luar bumi dengan sifat tidak padu, gembur, adanya perbedaan warna, struktur, sifat fisik, sifat kimia, dan biologi pada bahan bagian bawahnya.
7. Das, Braja M. Tahun 1995 seorang ahli teknik sipil menjelaskan tanah sebagai material yang terdiri dari

butiran mineral-mineral padat yang tidak terdisementasi antara satu dengan lainnya dari bahan-bahan organik yang telah lapuk dengan disertai adanya zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat.

Pengertian tanah dari sudut pandang pertanian maka tanah merupakan media tumbuh bagi tanaman yang tersusun dari bahan mineral, organik, air dan udara dan tanah merupakan rumah organisme tanah dalam proses dekomposisi bahan organik. Utomo dkk (2016) menjelaskan bahwa tanah adalah bahan mineral dan tubuh alam. Tanah sebagai bahan mineral yang mengandung bahan mineral, bahan organik dan biota tanah. Sedangkan tanah sebagai tubuh alam secara tiga dimensi seperti gunung, danau ataupun lembah.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, H. F., & Wijayanti, F. (2023). *Mengenal Karakteristik dan Jenis Tanah-Tanah Pertanian di Indonesia-Jejak Pustaka*. Jejak Pustaka.
- Lehmann, J., Bossio, D. A., Kögel-Knabner, I., & Rillig, M. C. (2020). The concept and future prospects of soil health. *Nature Reviews Earth & Environment*, 1(10), 544-553.
- Notohadiprawiro, T. (1998). Tanah dan lingkungan. *Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jakarta*, 237.
- Utomo, M., Sabrina, T., Sudarsono, Lumbanraja, J., Rusman, B., Wawan (2016). *Ilmu Tanah Dasar-Dasar dan Pengelolaan*. Prenadamedia Group: Jakarta

BAB 2

PROFIL TANAH

Oleh Muh. Ansar

2.1 Pendahuluan

Tanah adalah bagian dari permukaan bumi yang terbentuk dari bahan induk (P) yang telah mengalami proses pelapukan akibat pengaruh iklim (C) terutama faktor curah hujan, suhu dan pengaruh aktivitas organisme hidup (O) termasuk vegetasi, organisme (manusia) pada suatu topografi (R) atau relief tertentu dalam jangka waktu (T) tertentu pula.

Menurut *soil survey staff* (2014) tanah adalah kumpulan tubuh alami pada permukaan bumi yang dapat berubah atau dibuat oleh manusia dari penyusunnya yang meliputi bahan organik yang sesuai bagi perkembangan akar tanaman. Di bagian atas dibatasi oleh udara atau air yang dangkal, ke samping dapat dibatasi oleh air yang dalam atau bahkan hamparan es atau batuan, sedangkan bagian bawah dibatasi oleh suatu materi yang tidak dapat disebut tanah yang sulit didefinisikan. Ukuran terkecilnya 1 sampai 10 m² tergantung pada keragaman horisonnya.

2.2 Batuan sebagai asal mula tanah

Tanah adalah hasil pelapukan batuan yang berlangsung dalam kurun waktu yang lama. Batuan yang dikenal sebagai *bedrock* atau *parent rock* tidak dipertimbangkan sebagai bahan induk karena lapisan tanah tidak terbentuk dari batuan, namun bahan induklah terbentuk dari batuan tersebut. Laju

pembentukan bahan induk dari pelapukan langsung *bedrock* cukup bervariasi. Batuan pasir (*sandstone*) yang sementasinya lemah, pada lingkungan humid (basah) dapat membentuk rata-rata 1 cm tanah per 10 tahun. Sebaliknya pada batuan metamorf kuarsit lebih lambat laju pelapukannya. Batuan kapur yang mudah larut meninggalkan residu berupa bahan yang sulit larut yang diperkirakan mencapai 100,000 tahun untuk membentuk lapisan tanah pada daerah dengan batuan induk kapur di daerah humid.

2.3 Proses Pembentukan Tanah

Tanah terbentuk dari bahan induk yang melalui berbagai proses baik secara fisik maupun kimiawi yang kemudian membentuk lapisan-lapisan yang berbeda dari suatu tempat ke tempat lain baik sifat fisik, kimia maupun sifat biologinya. Dalam istilah tanah lapisan tersebut dikenal dengan horison. Penampakan vertikal dari tanah yang terdiri atas horison-horison disebut profil tanah. Adapun proses-proses tersebut antara lain :

a. *Proses fisik*

- Pelapukan secara fisik yang terpenting adalah akibat naik turunnya suhu dan perbedaan kemampuan memuai dan mengerut dari masing-masing mineral. Karena masing-masing mineral mempunyai kemampuan mengembang dan memuai yang berbeda-beda kekuatannya.
- Pengangkutan batuan dari suatu tempat ke tempat lain oleh air juga dapat menyebabkan pelapukan secara fisik.

b. *Proses secara biologik-mekanik*

- Proses dimana akar-akar tanaman masuk ke dalam batuan melalui rekahan-rekahan yang kemudian berkembang mempunyai kekuatan yang sangat besar untuk menghancurkan batuan tersebut.

c. *Proses kimiawi*

- Hidrasi dan dehidrasi
- Oksidasi dan reduksi
- Hidrolisis
- Pelarutan.

2.4 Profil Tanah

Profil tanah atau penampang tanah adalah bidang tegak dari suatu sisi pedon yang mencirikan suatu lapisan-lapisan tanah, atau disebut Horizon Tanah. Setiap horizon tanah memperlihatkan perbedaan, baik menurut komposisi kimia maupun fisiknya. Kebanyakan horizon dapat dibedakan dari dasar warnanya. Perbedaan horizon tanah terbentuk karena dua faktor yaitu pengendapan yang berulang-ulang oleh genangan air atau pencucian tanah (*leached*) dan karena proses pembentukan tanah. Proses pembentukan horizon-horizon tersebut akan menghasilkan benda alam baru yang disebut tanah. Adapun yang dimaksud solum adalah kedalaman efektif tanah yang masih dapat dijangkau oleh akar tanaman. Horizon-horizon yang menyusun profil tanah berturut-turut dari atas ke bawah adalah horizon O, A, B, C, dan D atau R (*Bed Rock*).

Jika kita membuat irisan tegak tanah dengan cara membuat lubang (1,0 x 1,5 m dengan kedalaman sekitar 2,0 m) dan selanjutnya diamati pada penampang tegaknya, akan terlihat laisan-lapisan dengan arah sejajar permukaan kulit bumi yang relatif mudah dibedakan satu sama lainnya. Lapisan-lapisan ini dalam ilmu tanah disebut horizon. Horizon tanah yang berada di atas bahan induk disebut "*solum*".

Lapisan tanah bagian atas pada umumnya mengandung bahan organik yang lebih tinggi dibandingkan lapisan tanah dibawahnya. Karena akumulasi bahan organik inilah maka lapisan tanah tersebut berwarna gelap dan merupakan lapisan tanah yang subur sehingga merupakan bagian tanah yang sangat

penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Lapisan tanah ini disebut lapisan tanah atas (*top soil*) atau disebut pula sebagai lapisan olah, dan mempunyai kedalaman sekitar 20 cm. Lapisan tanah dibawahnya, yang disebut lapisan tanah-bawah (*subsoil*) berwarna lebih terang dan bersifat relatif kurang subur. Hal ini bukan berarti bahwa lapisan tanah bawah tidak penting perannya bagi produktivitas tanah, karena walaupun mungkin akar tanaman tidak dapat mencapai lapisan tanah bawah, permeabilitas dan sifat-sifat kimia lapisan tanah bawah akan sangat berpengaruh terhadap lapisan tanah atas dalam peranannya sebagai media tumbuh tanaman.

Pengenalan tanah di lapangan dilakukan dengan mengamati menjelaskan sifat-sifat profil tanah. Profil tanah adalah urutan-urutan horison tanah, yakni lapisan-lapisan tanah yang dianggap sejajar permukaan bumi. Profil tanah dipelajari menggali tanah dengan dinding lubang vertikal kelapisan yang lebih bawah.

Horisonisasi (pembentukan horison tanah) dihasilkan dari kehilangan, transformasi, dan translokasi sepanjang waktu tertentu pada bahan induk. Contoh sejumlah proses penting yang menghasilkan horison tanah antara lain :

1. penambahan bahan organik dari tanaman terutama pada topsoil.
2. transformasi yang diwakili oleh pelapukan batuan dan mineral dan dekomposisi bahan organik.
3. hilangnya/larutnya komponen dapat larut oleh pergerakan air melalui tanah yang membawa serta garam-garam dapat larut.
4. translokasi yang diwakili oleh pergerakan mineral dan bahan organik dari topsoil ke subsoil

Horison A dan C

- Pengaruh dekomposisi bahan organik (Humifikasi) : membentuk humus pada topsoil yang turut mempengaruhi warna dari topsoil yang lebih gelap dibanding lapisan dibawahnya. Topsoil ini kemudian dikenal dengan HORISON A. Terkadang horison A disebut Ap, huruf p menunjukkan pembajakan, atau penggunaan tanah untuk diolah, budidaya atau sebagai lahan pertanian.
- Horison yang tepat berada langsung diatas bagian bahan induk yang telah mengalami perubahan disebut sebagai HORISON C.
- Pembentukan horison E (*Eluviasi*) atau horison pencucian yang lebih banyak terjadi pada tanah-tanah hutan dibandingkan di daerah padang rumput. Warna horison E biasanya lebih terang (putih).
- Pembentukan HORISON O pada tanah-tanah organik yang pada umumnya terbentuk didaerah yang sering tergenang air seperti danau dengan air dangkal, rawa-rawa yang memungkinkan terakumulasinya gambut (bahan organik) akibat kurangnya oksigen yang membantu proses dekomposisi. Tanah yang terbentuk kemudian dikenal sebagai tanah organik yang mempunyai horison O.

DAFTAR PUSTAKA

- Foth, H.D. 1990. *Fundamentals of Soil Science*. 8^{Ed}. John Wiley & Sons. New York.
- Hardjowigeno, S. 2003. *Ilmu Tanah*. Akademika Pressindo. Jakarta.
- Soepardi, G. 1983. *Sifat dan Ciri Tanah*. IPB Bogor.
- Soil Survey Staff. 2014. *Kunci Taksonomi Tanah*. Edisi Ketiga, 2015. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Van Breemen, P. Buurman, R. Brinkman. 1992. *Processes in Soils*. Text for Course J050-202, Dept. Soil Science and Geology, Agricultural University Wageningen.

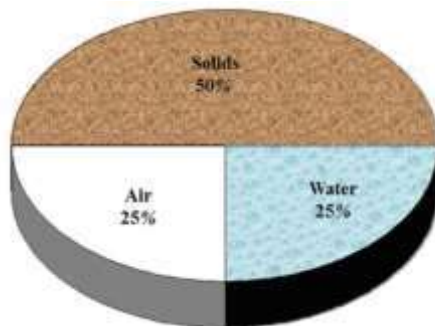
BAB 3

SIFAT FISIK TANAH

Oleh Abdi Suprayitno

3.1 Pendahuluan

Tanah adalah campuran bahan mineral dan organik. Tanah umumnya terdiri dari mineral primer dan mineral sekunder. Tanah yang ideal sebagai terdiri kira-kira 50% volume padatan, 25% volume air, dan kira-kira 25% udara (Gambar 3.1). Tanah-tanah ideal ini juga mengandung bahan organik, hingga 5%. Tanah dapat sangat bervariasi dalam porositas ditambah kandungan air dan udaranya, namun masih dianggap produktif. Jenis, ukuran, dan proporsi relatif komponen mineral serta jumlah dan sifat fraksi organik memengaruhi sifat fisik dan kimia tanah. Sifat-sifat ini pada gilirannya menentukan kapasitas tanah untuk menahan air, ketersediaan nutrisinya, kerentanannya terhadap pemadatan, kemampuannya untuk mengalirkan air, dan beberapa karakteristik lainnya.



Gambar 3. 1. Proporsi Tanah Ideal (McCarty, dkk, 2016)

Berbagai penggunaan lahan sangat dipengaruhi oleh karakteristik fisik tanah yang meliputi kekuatan dan stabilitasnya, kemampuan untuk menyimpan air, drainase, kemampuan akar tanaman untuk menembus, sirkulasi udara, serta kemampuan tanah untuk menahan unsur hara. Semua ini memiliki hubungan yang sangat erat dengan sifat fisik dari tanah itu sendiri.

Tanah terdiri dari fragmen yang memiliki ukuran diameter lebih kasar dari pasir. Fragmen adalah bagian dari batuan yang belum mengalami pelapukan sempurna, sehingga masih meninggalkan sifat batuan asalnya. Fragmen memiliki bentuk meruncing sampai membulat tergantung dari kemampuan resistensi batuan asalnya.

Kemudian tanah juga mengandung pasir yang bersifat lepas-lepas. Tidak terkompaksi sempurna, memiliki bentuk butiran yang bervariasi dan memiliki porositas. Tanah pasir merupakan media perkolasi yang baik untuk udara maupun air masuk kedalam lapisan tanah yang lebih dalam.

Di dalam suatu agregat tanah juga terdapat liat yang memiliki luas permukaan sangat besar sehingga mampu menahan air. Liat memiliki sifat plastis dan lengket bila mengandung air. Kemudian tanah memiliki debu yang berukuran diantar pasir dan liat. Debu memiliki kelimpahan yang cukup banyak pada agregat tanah.

3.2 Tekstur Tanah

Tekstur tanah adalah perbandingan banyaknya tanah dengan ukuran butir pasir (sand), lanau (silt) dan lempung (clay) didalam suatu sistem tanah. Tekstur tanah dapat memberikan gambaran mengenai tingkat kekasaran dan kehalusan tanah di lapangan. Untuk mendapatkan nilai tekstur

tanah dapat dilakukan di laboratorium dengan menggunakan alat sieve shaker (Gambar 3.2).



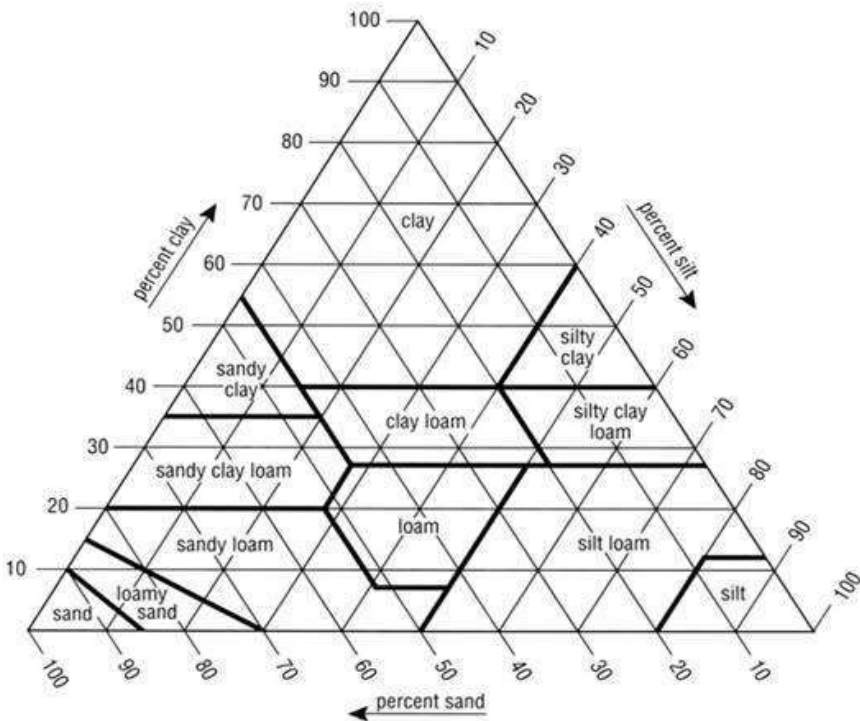
Gambar 3. 2. Sieve Shaker (FR 2022)

Penentuan tekstur tanah dapat menggunakan diagram segitiga tekstur tanah seperti di bawah ini. Diketahui menurut McCarty, dkk. (2016), ukuran butir tanah pada parameter diagram segitiga tersebut adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 1. Ukuran Butir Tanah (McCarty, dkk, 2016)

Textural name	Textural subclass	Particle-size range (mm)	U.S. standard (sieve number)	Sieve opening (mm)	Particles (g^{-1})	Typical settling velocity
Gravel	Gravel	>4.76	4	4.76	<2	20 cm s^{-1}
	Fine gravel	2.00 to 4.76	10	2.00	11	3 cm s^{-1}
Sand	Very coarse sand	1.00 to 2.00	18	1.00	90	1 cm s^{-1}
	Coarse sand	0.50 to 1.00	35	0.50	720	13 cm min^{-1}
	Medium sand	0.25 to 0.50	60	0.25	5,700	3 cm min^{-1}
	Fine sand	0.10 to 0.25	140	0.10	46,000	31 cm h^{-1}
	Very fine sand	0.05 to 0.10	270	0.05	722,000	6 cm h^{-1}
Silt	—	0.002 to 0.05	—	—	5,776,000	1.3 mm h^{-1}
Clay	—	<0.002	—	—	90,260,853,000	$<1.3\text{ mm h}^{-1}$

Ukuran butir tanah diatas kemudian digunakan untuk penentuan jenis tanah dengan memperbandingkan fraksi ukurannya didalam duatu sampel tanah.



Gambar 3. 3. Diagram Segitiga Tekstur Tanah

(The University of Hawai'i, 2007)

Sebagai contoh jika diketahui sampel tanah memiliki 40 % pasir, 40 % lanau dan 20 % lempung. Maka melalui diagram diatas dapat ditentukan jenis tanahnya adalah Loam.

3.3 Berat Tanah

Tanah tidak terdiri dari material yang seragam tetapi mengandung tiga macam materials, yakni partikel tanah, air didalam pori dan udara (Carter dan Bentley, 2016) Densitas tanah dapat dinyatakan dalam dua jenis yaitu :

- a. Densitas Partikel (*Particle Density*)
- b. Densitas Isi (*Bulk Density*)

Perbedaan mendasar keduanya adalah jika densitas partikel tidak menghitung berat pori, sedangkan densitas isi menghitung total berat tanah dan porinya.

3.3.1 Densitas Partikel (*Particle Density*)

Densitas partikel adalah berat tanah kering per satuan volume partikel padatan tanah. Satuan dinyatakan dalam gram/cm³. Volume pori tidak masuk dalam perhitungan berat ini. Untuk menghitung densitas partikel digunakan rumus sebagai berikut (Carter and Bentley, 2016).

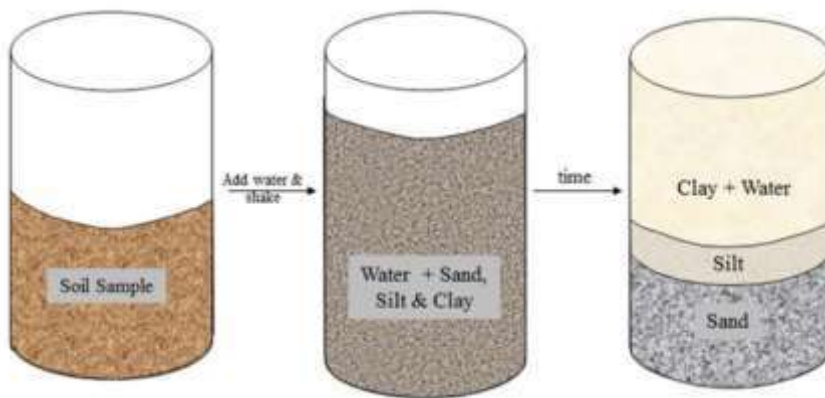
$$PD = \frac{\text{Berat tanah kering (g)}}{\text{Volume tanah yang dimampatkan (cm}^3\text{)}}$$

Untuk memahami kepadatan partikel dengan lebih baik, penting untuk membedakannya dari kepadatan tumpukan dan kepadatan tanah. Kepadatan tumpukan mencakup baik partikel padat maupun ruang pori, sedangkan kepadatan tanah mempertimbangkan volume total tanah, termasuk partikel padat dan air. Kepadatan partikel secara khusus berfokus pada kepadatan partikel padat tanah.

Kepadatan partikel bervariasi tergantung pada komposisi mineral, kandungan bahan organik, dan tekstur tanah. Secara umum, tanah dengan proporsi mineral berat yang lebih tinggi, seperti lempung dan lanau, cenderung memiliki kepadatan partikel yang lebih tinggi. Tanah organik, yang mengandung

jumlah bahan organik yang signifikan, biasanya memiliki kepadatan partikel yang lebih rendah.

Pada Gambar 3.4 dibawah dapat kita lihat pengaruh kepadatan terhadap kecepatan pengendapan seiring dengan berjalannya waktu. Partikel yang memiliki diameter besar akan mengendap lebih dahulu dibandingkan dengan partikel dengan ukuran butir lebih kecil. Pemisahan partikel berdasarkan ukuran butir ini mengikuti hukum Stoke Law.



Gambar 3. 4. Tahapan Pemisahan Partikel Berdasarkan Ukuran Butir

(McCarty, dkk., 2016)

3.3.2 Densitas Isi (*Bulk Density*)

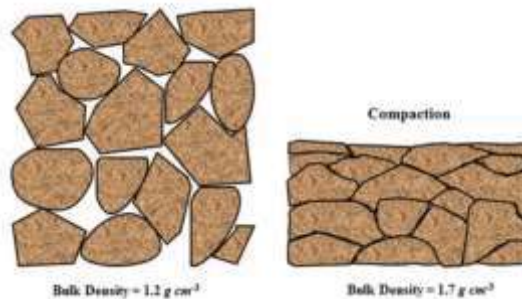
Densitas isi adalah berat satu satuan volume tanah kering (g/cm^3). Volume tanah termasuk volume butiran padat dan ruang pori. Tanah yang memiliki porositas tinggi berbobot kecil per satuan volume, sedangkan sebaliknya tanah padat memiliki bobot tinggi per satuan volume. Rumus densitas isi adalah sebagai berikut (Carter and Bentley, 2016).

$$BD = \frac{\text{Berat tanah kering} + \text{berat air dalam pori (g)}}{\text{Volume tanah (cm}^3\text{)}}$$

Pengukuran kepadatan tumpukan memberikan informasi yang penting tentang sifat fisik tanah. Nilai kepadatan tumpukan dapat bervariasi tergantung pada beberapa faktor, termasuk jenis tanah, kandungan bahan organik, struktur tanah, dan kondisi pengelolaan lahan. Secara umum, tanah dengan kandungan liat yang tinggi atau tanah yang telah mengalami kompaksi cenderung memiliki kepadatan tumpukan yang lebih tinggi.

Untuk mengukur kepadatan tumpukan secara akurat, sampel tanah diambil dari berbagai kedalaman dan lokasi di lapangan. Sampel-sampel ini kemudian dibawa ke laboratorium untuk analisis lebih lanjut. Metode yang umum digunakan untuk mengukur kepadatan tumpukan melibatkan pengukuran massa sampel tanah kering dan volume totalnya.

Penting untuk memahami perbedaan antara kepadatan tumpukan, kepadatan partikel, dan kepadatan tanah. Kepadatan tumpukan mencakup seluruh volume tanah, termasuk ruang pori dan air, sedangkan kepadatan partikel hanya mempertimbangkan massa partikel padat tanah per unit volume. Kepadatan tanah adalah konsep yang lebih luas yang mencakup seluruh tanah, termasuk bahan organik, mineral, air, dan udara. Gambar 3.5 menunjukkan perbandingan tanah yang terkompaksi dan tidak.



Gambar 3. 5. Perbandingan tanah yang mengalami kompaksi (McCarty, dkk., 2016)

3.4 Porositas Tanah

Porositas tanah atau ruang pori atau ruang void adalah persentase total volume tanah yang tidak terisi oleh partikel tanah atau yang terisi udara dan air. Ukuran pori tergantung dari ukuran butir maupun dari susunan dari partikel tersebut. Pada tanah kering, pori akan terisi udara sedangkan pada tanah yang basah maka pori akan terisi udara dan air. Jika partikel tanah tersusun rapat maka porositas cenderung kecil. Jika tersusun rapi dan berisi material organik maka porositas per volumenya juga akan tinggi. Berikut adalah rumus total porositas didalam tanah menurut McCarty, dkk., (2016).

$$\text{total porosity } f_t (\%) = \left(1 - \frac{\text{bulk density } \rho_b}{\text{particle density } \rho_s} \right) * 100$$

Porositas tanah, konsep yang sangat penting dalam ilmu tanah, merujuk pada jumlah ruang kosong di antara butiran padat tanah. Pori-pori ini memainkan peran kunci dalam menyediakan tempat bagi air dan udara dalam tanah, yang pada gilirannya mempengaruhi banyak aspek kehidupan tanaman dan ekosistem. Untuk memahami bagaimana porositas memengaruhi ketersediaan air dan udara dalam tanah, serta dampaknya terhadap pertumbuhan tanaman, penting untuk memahami karakteristik fisik dari tanah yang berbeda.

Karakteristik porositas tanah ini sangat mempengaruhi kesesuaian tanah untuk berbagai jenis penggunaan. Misalnya, tanah liat mungkin lebih cocok untuk tanaman yang membutuhkan kelembaban yang konsisten, seperti tanaman air atau tanaman hutan hujan tropis. Di sisi lain, pasir mungkin lebih sesuai untuk tanaman yang membutuhkan drainase yang baik dan tanah yang lebih cepat mengering, seperti tanaman kaktus atau tanaman pantai.

Namun, penting untuk diingat bahwa porositas tanah tidak hanya memengaruhi ketersediaan air, tetapi juga udara dalam tanah. Udara yang terperangkap dalam pori-pori tanah sangat penting untuk pernapasan akar tanaman dan mikroorganisme tanah. Tanah yang terlalu padat atau memiliki porositas yang rendah mungkin tidak menyediakan cukup udara bagi pertumbuhan tanaman yang optimal.

Selain itu, porositas tanah juga memengaruhi kemampuan tanah untuk menyimpan dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Pori-pori tanah berperan dalam mengikat dan menyimpan unsur hara yang penting bagi pertumbuhan tanaman. Tanah dengan porositas yang baik cenderung memiliki kemampuan yang lebih baik untuk menyediakan nutrisi bagi tanaman daripada tanah dengan porositas yang rendah.

Perubahan dalam porositas tanah juga dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor eksternal seperti penggunaan tanah, erosi tanah, dan perubahan iklim. Misalnya, pengolahan tanah yang berlebihan atau erosi dapat mengurangi porositas tanah, yang dapat mengurangi kemampuan tanah untuk menyimpan air dan menyediakan nutrisi bagi tanaman. Demikian pula, perubahan iklim seperti peningkatan suhu atau pola curah hujan yang berubah dapat memengaruhi porositas tanah melalui perubahan dalam dekomposisi bahan organik atau pembentukan agregat tanah.

Dalam konteks pertanian berkelanjutan dan manajemen lingkungan, pemahaman yang mendalam tentang porositas tanah sangat penting. Petani dan ahli lingkungan perlu mempertimbangkan karakteristik porositas tanah dalam perencanaan dan pengelolaan lahan mereka untuk memastikan penggunaan yang optimal dari sumber daya tanah dan air, serta untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan.

Oleh karenanya porositas tanah adalah salah satu karakteristik fisik tanah yang sangat penting dan kompleks. Peran porositas dalam menentukan ketersediaan air dan udara, kemampuan tanah untuk menyimpan nutrisi, serta dampaknya terhadap pertumbuhan tanaman dan lingkungan sangat besar. Dengan memahami peran porositas tanah, kita dapat lebih baik mengelola tanah dan lingkungan untuk keberlanjutan jangka panjang.

3.5 Struktur dan Agregat Tanah

Struktur tanah adalah kumpulan dari berbagai macam ukuran butir tanah menjadi satu kesatuan kelompok. Struktur tanah memiliki peranan penting dalam mengatur kondisi fisik tanah serta memengaruhi berbagai aspek seperti pertumbuhan akar tanaman, sirkulasi udara dan air, distribusi unsur hara, dan aktivitas mikroba tanah. Keberadaan struktur tanah berdampak pada udara, air, kekuatan mekanik untuk pertumbuhan akar, dan suhu tanah. Agregat tanah, terbentuk dari partikel-partikel tanah yang menggabung menjadi unit-unit lebih besar, memiliki peranan vital dalam menentukan sifat-sifat tanah seperti hubungan air, aerasi, pergerakan tanah, infiltrasi, permeabilitas, dan pencucian unsur hara.

Proses pembentukan agregat tanah terdiri dari flokulasi dan fragmentasi, di mana flokulasi terjadi ketika partikel-partikel tanah yang awalnya tersebar bergabung menjadi agregat, sementara fragmentasi terjadi ketika tanah padat pecah menjadi agregat yang lebih kecil. Struktur tanah dan stabilitas agregat memengaruhi beberapa karakteristik tanah seperti hubungan air dan tanah, aerasi, pergerakan tanah, infiltrasi, permeabilitas, dan pencucian unsur hara, yang semuanya krusial bagi produktivitas tanah. Keberhasilan pengelolaan tanah, terutama di lahan kering, sangat bergantung pada pengelolaan struktur tanah. Utomo (2016) mengelompokkan struktur tanah

atau agregat butir primer menjadi agregat mikro (0,25 mm - 0,5 mm) dan agregat makro (hingga 10 mm), sedangkan agregat yang lebih besar dari 10 mm disebut bongkah (clod).

Neswati, dkk., (2020) mengemukakan bahwa struktur tanah berpengaruh terhadap kapasitas air dan lalu lintasnya, udara yang ada kemudian juga dapat menahan erosi. Struktur tanah dengan agregat yang stabil dapat menjaga sirkulasi aerasi yang baik, penyerapan yang tinggi dalam hal infiltrasi dan perkolasi serta meningkatkan penurunan erodabilitas tanah. Air hujan yang turun tidak akan mudah untuk menghancurkan struktur tanah mantab, sedangkan struktur yang tidak mantab akan mudan hancur dan menutupi pori tanah sehingga mengakibatkan infiltrasi terhambat. Pengaruh tekstur, bahan organik dan zat kimia seperti karbonat dapat berpengaruh pada struktur tanah.

Geosinindo Team (2022) membagi berdasarkan faktor dan proses pembentukan yang berbeda bahwa struktur tanah memiliki variasi yang beragam. Berikut ini adalah penjelasan mengenai berbagai jenis struktur tanah:

- a) Struktur tanah prismatic (*prismatic*)
Struktur tanah yang memiliki perbandingan sumbu vertical lebih Panjang dibanding horizontal.
- b) Struktur tanah gumpal membulat dan bersudut
Struktur tanah berbentuk bulat dan memiliki sudut dibeberapa bagian.
- c) Struktur tanah remah (*crumb*)
Struktur tanah kering dan rapuh
- d) Struktur tanah tiang (*columnar*)
Perbandingan sumbu horizontalnya lebih Panjang dibandingkan sumbu vertikal. Bentuknya melebar kesisi-sisinya.

- e) Struktur tanah granular (butiran)
Bentuk butir membulat dan hubungan antar butir memiliki pori, struktur ini sangat baik untuk tanaman
- f) Struktur tanah lempeng (*platy*)
Strukturnya seperti lempengan-lempengan batuan

3.6 Warna Tanah

Hasibuan dan Syafriadiman (2021) menjelaskan bahwa warna tanah memiliki pengaruh langsung terhadap penyerapan sinar matahari dan menjadi salah satu faktor penentu suhu tanah. Secara tidak langsung, warna tanah juga terkait dengan sifat-sifat tanah, seperti drainase subsoil, kandungan bahan organik pada permukaan horizon, serta perbedaan antar horizon. Warna tanah diukur menggunakan standar warna Soil Munsell Color Chart.

Soil Munsell Color Chart pada Gambar 3.6 menggunakan tiga variabel untuk mengidentifikasi warna tanah, yaitu hue, value, dan chroma. Hue adalah spektrum dominan warna, menentukan apakah warna tersebut murni seperti kuning, merah, hijau, atau campuran warna murni seperti kuning-merah. Campuran warna diidentifikasi secara numerik sesuai dengan proporsi kuning dan merah yang digunakan. Sebagai contoh, 5 YR menunjukkan campuran kuning dan merah, dengan peningkatan jumlah kuning diikuti oleh penurunan merah.



Gambar 3. 6. Soil Munsell Color Chart 5YR (Munsell Color, 2009)

Value dan Chroma mengacu pada bagaimana Hue dimodifikasi dengan penambahan warna abu-abu. Value mengindikasikan tingkat kecerahan warna dengan mencampur pigmen putih dan hitam murni. Sebagai contoh, nilai 5 berarti jumlah yang sama dari pigmen putih dan hitam dicampur. Chroma, di sisi lain, menunjukkan jumlah nilai abu-abu yang dicampur dengan warna murni untuk menciptakan warna tanah sebenarnya. Semakin rendah Chroma, semakin dekat nilai warna dengan abu-abu murni.

DAFTAR PUSTAKA

- Carter, Michael, and Stephen P. Bentley. 2016. *Soil Properties and Their Correlations*. Wiley.
- FR. 2022. *Sieve Shaker – Pengertian, Fungsi Dan Penggunaan Sieve Shaker*. <https://Andarupm.Co.Id/Sieve-Shaker>.
- Geosinindo Team. 2022. *Mengenal Struktur Tanah: Fungsi, Jenis, Tekstur, Dan Solusi Permasalahan Tanah*. <https://Www.Geosinindo.Co.Id/Post/Mengenal-Struktur-Tanah-Fungsi-Jenis-Tekstur-Dan-Solusi-Permasalahan-Tanah#:~:Text=Apa%20itu%20struktur%20tanah%3F,Agre%20dari%20hasil%20proses%20pedogenesis>.
- Hasibuan, Saberina, and Syafriadiman. 2021. *Buku Ajar Produktivitas Kualitas Tanah Dasar*. UR Press Pekanbaru.
- McCarty, Lambert B., , Lewis Ray Hubbard, and Virgil Quisenberry. 2016. *Applied Soil Physical Properties, Drainage, and Irrigation Strategies*. Cham: Springer International Publishing.
- Munsell Color. 2009. *Soil Munsell Color Chart*. <https://Soils.Uga.Edu/Files/2016/08/Munsell.Pdf>.
- Neswati, R., A. S. Mustari, A. P. Ambodo, Y. Lawang, A. Ardiansyah, and A. F. Adzima. 2020. *Tanah Reklamasi Bekas Tambang Nikel: Karakteristik, Potensi, Kendala, Dan Pengelolaannya*. CV. Social Politic Genius (SIGn).
- The University of Hawai'I. 2007. *Soil Texture and Soil Structure*. https://Www.Ctahr.Hawaii.Edu/Mauisoil/A_factor_ts.aspx.
- Utomo, M. 2016. *Ilmu Tanah Dasar-Dasar Dan Pengelolaan*. Kencana.

BAB 4

SIFAT KIMIA TANAH

Oleh Indra Permana

4.1 Pendahuluan

Tanah merupakan sistem yang kompleks dan dinamis yang memainkan peran penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman dan menyediakan nutrisi penting bagi tanaman. Kesuburan tanah bergantung pada sifat-sifat yang dimiliki yakni sifat fisika, kimia dan biologi. Sifat tanah yang sangat mempengaruhi kualitas dan fungsinya adalah sifat kimianya (Parr F *et al.*, 1992). Sifat kimia tanah mengacu pada komposisi kimia dan interaksi bahan kimia yang ada di dalam tanah yang mempengaruhi kemampuannya untuk memasok unsur hara bagi tanaman, menyeimbangkan pH, dan kemampuannya untuk menyimpan dan melepaskan unsur hara unsur tanah tertentu (Asril *et al.*, 2022). Salah satu indikator tanah subur dapat melihat dari sifat imia yang dimilikinya.

Sifat kimia tanah dapat berbeda dikarenakan pengaruh saat proses pembentukan tanah serta penggunaan lahan, topografi, dan jenis tanah (Areal *et al.*, 2018). Beberapa parameter sifat kimia tanah yang perlu dipahami diantaranya pH tanah, Koloid tanah, kapasistas tukar kation (KTK), kandungan unsur hara, bahan organik, kejenuhan basa dan kemasaman dapat ditukar (Nursyamsi and Suprihati., 2019). Berkurangnya kesuburan tanah berarti menurunnya kualitas kimia tanah, khususnya penurunan kandungan bahan organik, nilai pH, KTK dan unsur hara esensial (Hartemink, 2006). Pemahaman menyeluruh tentang sifat kimia tanah sangat

penting dalam menjaga kesuburan tanah, meningkatkan produktivitas pertanian, dan melindungi lingkungan.

4.2 Kemasaman Tanah

Reaksi tanah ditunjukkan berdasarkan tingkat kemasaman atau kebasaaan tanah yang disebut dengan pH tanah. Nilai pH menggambarkan konsentrasi ion hydrogen di dalam tanah (Weil and Brady, 2016). Nilai pH sangat penting untuk diketahui sebelum melakukan pengolahan tanah ataupun kegiatan budidaya tanaman. Hal tersebut dikarenakan pH tanah mempengaruhi ketersediaan unsur hara di dalam tanah dan keberadaan mikroorganisme tanah.

Nilai pH tanah dapat ditingkatkan menuju basa melalui pemberian kapur pertanian atau dolomit (Basuki and Winarso, 2021). Untuk menaikkan 1 nilai pH diperlukan 2 ton dolomit pada luasan 1 hektar (Basuki and Sari, 2020). Sebaliknya, pada tanah dengan pH basa atau alkalis maka cara menurunkan pH nya yaitu melalui pemberian sulfur atau belerang serta pupuk kimia yg bereaksi masam kepada tanah seperti Pupuk Amonium Sulfat (ZA) (Mallarino and Haq, 2017; Anderson *et al.*, 2018).

4.2.1 Peran pH tanah

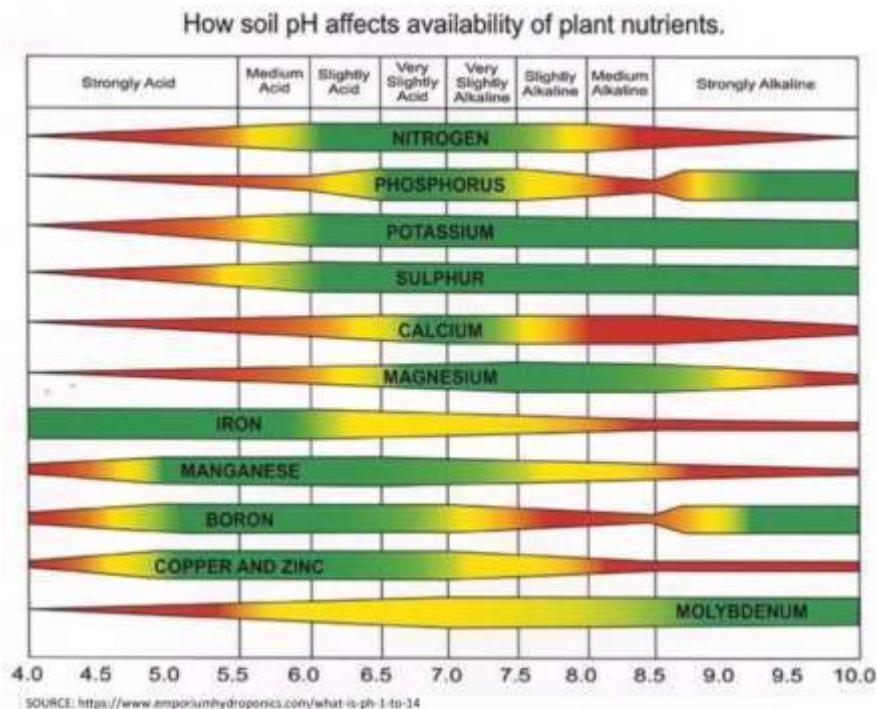
1. Kelarutan Unsur Hara di dalam Tanah dan Serapan Tanaman

Unsur hara mineral umumnya tersedia atau terlarut pada pH netral sehingga memudahkan proses penyerapan oleh tanaman. Penurunan atau pun peningkatan pH tanah menjadi masam ataupun basa dapat menyebabkan beberapa unsur hara tidak dapat diserap oleh tanaman dikarenakan membentuk senyawa dengan unsur lain. Unsur hara P sulit diserap tanaman pada pH masam disebabkan adanya pengikatan oleh unsur Al sehingga

membentuk senyawa AlPO_4 . Sebaliknya, pH tanah dengan nilai basa juga mempengaruhi ketersediaan P karena adanya unsur Ca dan Mg yang mampu mengikat dan membentuk senyawa dengan unsur P menjadi CaPO_4 dan MgPO_4 .

Proses dekomposisi bahan organik juga dipengaruhi oleh pH tanah dimana kondisi pH masam dapat menghambat proses penguraian bahan organik. Hal tersebut berdampak pada proses mineralisasi unsur hara yang berjalan lebih lambat dibandingkan pada pH netral. Dengan demikian, unsur hara pada tanah dengan pH masam cenderung memiliki unsur hara yang rendah (Neina, 2019).

Unsur hara K cenderung memiliki kelarutan yang lebih stabil baik pada pH netral hingga basa. Namun ketersediaan unsur K di dalam tanah dipengaruhi oleh keberadaan mineral liat atau koloid tanah. Penurunan ketersediaan K terjadi akibat proses pencucian yang menyebabkan penurunan pH tanah. Hubungan antara nilai pH dan ketersediaan unsur hara dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 4. 1. Hubungan nilai pH dan ketersediaan unsur hara

(Sumber: <https://rimbakita.com/ph-tanah/>)

2. Menunjukkan Kelarutan logam berat.

Tanah dengan pH masam relative mendukung kelarutan logam berat di dalam tanah. Alumunium (Al) memiliki tingkat kelarutan yang cukup besar pada pH masam dalam bentuk Al^{3+} . Keberadaan Al yang tinggi di dalam tanah dapat mempengaruhi ketersediaan unsur hara esensial dan meracuni tanaman. Kelarutan unsur hara mikro juga dapat meningkat pada kondisi pH masam, kecuali Molibdenum (Mo). Tingginya konsentrasi unsur hara mikro pada tanah tentunya tidak berdampak baik bagi tanaman dan dapat menyebabkan toksisitas atau keracunan.

3. Mempengaruhi Aktivitas Mikroorganisme.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, kondisi pH dapat mempengaruhi proses penguraian bahan organik dan siklus nutrisi. Hal tersebut dikarenakan populasi dan aktivitas mikroorganisme seperti bakteri dan jamur sangat ditentukan oleh nilai pH. Bakteri dapat tumbuh dan berkembang dengan baik pada pH 5,5 atau lebih dan menurun seiring dengan penurunan nilai pH (Xu *et al.*, 2020). Pertumbuhan jamur lebih dominan dibandingkan bakteri dikarenakan memiliki daya adaptasi yang lebih tinggi terhadap kondisi pH tanah.

4.2 Koloid Tanah

Koloid tanah adalah fraksi tanah yang terdiri dari partikel-partikel sangat kecil dengan ukuran kurang dari 0,001 mm yang memiliki permukaan yang besar dan muatan listrik. Koloid tanah terdiri dari dua jenis utama yakni koloid liat atau mineral dan koloid organik. Koloid liat atau mineral terdiri dari partikel-partikel liat seperti kaolinit, smektit, dan montmorillonit, sementara koloid organik terdiri dari bahan organik terdekomposisi dalam tanah yang biasa disebut humus (Balasubramanian, 2017).

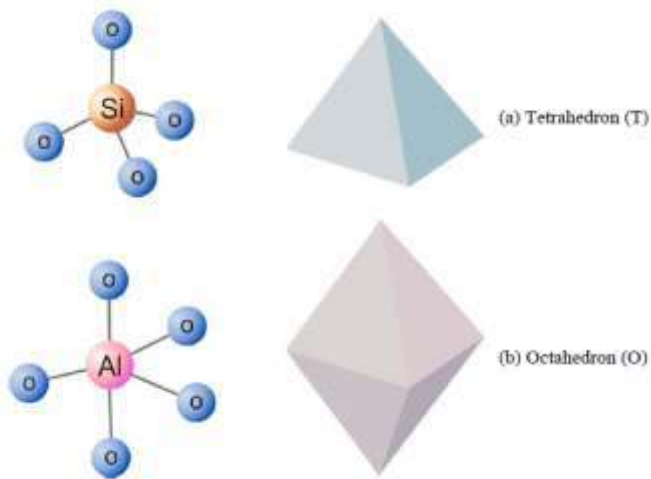
Koloid dapat bermuatan positif ataupun negatif. Partikel koloid yang bermuatan listrik memiliki kecenderungan untuk saling menarik dengan koloid yang memiliki muatan berlawanan. Dalam tanah, partikel lempung cenderung bermuatan negatif sehingga menarik kation bermuatan positif. Partikel-partikel koloid yang sangat halus disebut micell (microcell), umumnya bermuatan negative, karena itu ion bermuatan positif (kation) tertarik pada koloid sehingga terbentuk lapisan ganda ion. Bagian dalam dari lapisan ganda ion terdiri dari partikel koloid yang bermuatan negatif (anion)

sedang bagian luar merupakan kerumunan kation yang tertarik oleh partikel-partikel koloid tersebut (Weil and Brady, 2016). Kelarutan logam berat berbanding lurus dengan penurunan nilai pH. Nilai pH yang cenderung masam menyebabkan kelarutan logam berat lebih tinggi (Najafi and Jalali, 2016).

4.2.1 Koloid Anorganik

Koloid anorganik terdiri dari mineral lempung Al-silikat, mineral utamanya adalah oksida Fe dan Al. Mineral lempung al-silikat mempunyai bentuk kristal yang baik seperti kaolinit, haolit, montmorillonit, illit. Kaolinit dan haolinit banyak ditemukan pada tanah berwarna merah (coklat), yaitu tanah yang umumnya memiliki drainase baik, sedangkan montmorillonit banyak ditemukan pada tanah yang mudah mengembang, menyusut dan retak pada musim kemarau, seperti tanah Vertisol. Illite ditemukan di tanah yang berasal dari bahan sumber kaya mika yang belum mengalami pelapukan lebih lanjut (Beamlaku and Habtemariam, 2021). Adanya muatan negatif pada mineral liat disebabkan oleh beberapa hal yakni : adanya muatan negatif berlebih pada bagian ujung-ujung patahan Si-tetrahedron dan Al-oktahedron., Disosiasi H^+ dari gugus OH yang terdapat pada tepi atau ujung kristal dan terjadinya substitusi isomorfik.

Berdasarkan sifat silikat dan kristal dari mineral koloid, koloid tanah dapat diklasifikasikan ke dalam tiga jenis, yaitu lempung silikat lapisan kristalin, lempung silikat lapisan non-kristalin (allofan dan imogolit), serta lempung non-silikat (lempung oksida besi dan aluminium) (Elias, 2016).



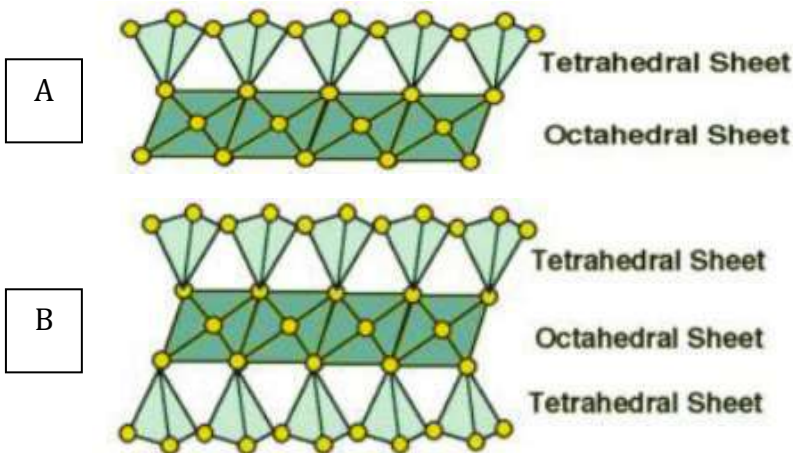
Gambar 4. 2. Bentuk geometrik tetrahedron (a) dan oktahedron (b)

(Sumber: (Al Ani and Sarapää, 2008))

Berdasarkan struktur, mineral liat terbagi menjadi 2 kategori yakni berstruktur dan tanpa struktur (Amorf). Mineral liat Al-silikat memiliki struktur berlapis yang terdiri dari lapisan Si-tetrahedron dan Al-oktahedron. Berdasarkan banyaknya lapisan Si-tetrahedron dan Al-oktahedron, mineral liat silikat terbagi menjadi 2 tipe yaitu tipe mineral 1:1 dan 2:1. Mineral lempung filosilikat adalah koloid anorganik dominan dalam sebagian besar tanah. Dua jenis lempung silikat yaitu lempung silikat kristalin (seperti kaolinit dan montmorillonit) dan lempung silikat non-kristalin (contohnya adalah alofan).

Struktur kristalin dari asosiasi lempung silikat terdiri dari dua hingga empat lembar atom O₂, Si, dan Al yang saling terikat erat dan pada umumnya membawa muatan negatif. Elemen dasar mineral lempung silikat lapisan adalah lembaran tetrahedron Si dan oktahedron Al. Lembaran oktahedral terdiri dari gugus hidroksil (6OH⁻) yang terkoordinasi di sekitar kation pusat, terutama Al³⁺, Fe²⁺, atau Mg²⁺. Tanah ini merupakan

matriks O-Si-Al/Fe yang mengandung unsur-unsur penting dengan ujung oksigen negatif dan ujung Si-Al/Fe positif. Kombinasi struktur tetrahedron dan oktahedron menciptakan berbagai jenis mineral lempung silikat (misalnya, aluminosilikat) (Elias, 2016).



Gambar 4. 3. Struktur mineral liat tipe 1:1 (A) dan tipe 2:1 (B)

(Sumber: (Al Ani and Sarapää, 2008))

4.2.2 Koloid Organik

Koloid organik atau biasa disebut humus, merupakan sisa-sisa bahan organik yang berasal dari tanaman dan hewan yang terdekomposisi dengan warna gelap dan stabil (Foth, 1990). Humus merupakan campuran dari berbagai senyawa kompleks seperti lipoprotein, polisakarida, dan poliuronida (Weil and Brady, 2016; Beamlaku and Habtemariam, 2021). Koloid organik dalam tanah berpasir hadir dalam jumlah kecil, sementara dalam tanah gambut dapat hadir lebih dari 50%. Koloid organik menunjukkan kapasitas adsorpsi yang lebih tinggi daripada koloid lainnya (Goldberg *et al.*, 2012). Koloid organik bermuatan negatif seperti koloid lempung. Ketika koloid organik ditambahkan ke tanah berpasir, kapasitas penyimpanan air dan nutrisinya akan meningkat sementara. Selama hidrasi,

setiap partikel humus membentuk misel dan karena adanya muatan negatif yang tinggi yang tersedia di permukaan humus, dapat menarik berbagai komponen organik dan anorganik yang bermuatan positif. Koloid organik memiliki CEC yang tinggi dibandingkan dengan lempung dan mereka dapat menyimpan dan secara perlahan melepaskan nutrisi penting untuk pertumbuhan tanaman (Hillel, 1998).

Koloid organik biasanya bersifat amorf atau tidak berbentuk. Sumber muatan negatif untuk humus berasal dari disosiasi gugus karboksilat ($-\text{COOH}$) dan fenol ($\sim -\text{OH}$). Jenis koloid ini sebagian besar bergantung pada pH karena proses CEC tergantung pada penggantian hidrogen dan CEC biasanya meningkat pada nilai pH yang lebih tinggi. Koloid organik terdiri dari rantai yang berkelok-kelok (yaitu, non-kristalin) dan cincin atom karbon yang terikat dengan hidrogen, oksigen, dan nitrogen (Weil and Brady, 2016). Partikel humus seringkali merupakan salah satu dari koloid tanah yang paling kecil dan menunjukkan kapasitas yang sangat tinggi untuk menyerap air tetapi hampir tidak memiliki plastisitas atau kekenyalan. Mereka memiliki muatan negatif bersih per unit massa karena sebagian terlarut dalam hidroksil, karboksilat, dan kandungan fenolik tetapi muatan tersebut tergantung pada pH dan menjadi sangat tinggi dalam tanah netral hingga alkalin (Elias, 2016).

4.3 Kapasitas Tukar Kation

Kapasitas tukar kation (KTK) merupakan kemampuan tanah dalam mempertukarkan atau menjerap serta melepaskan kation- kation yang ada di dalam tanah. Di dalam tanah terdapat dua jenis kation, yaitu kation basa dan kation asam. Kation basa terdiri dari Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ dan Na^+ sedangkan kation asam meliputi H^+ dan Al^{3+} . Penjerapan kation basa terjadi akibat muatan negative dari misel yang berlebih.

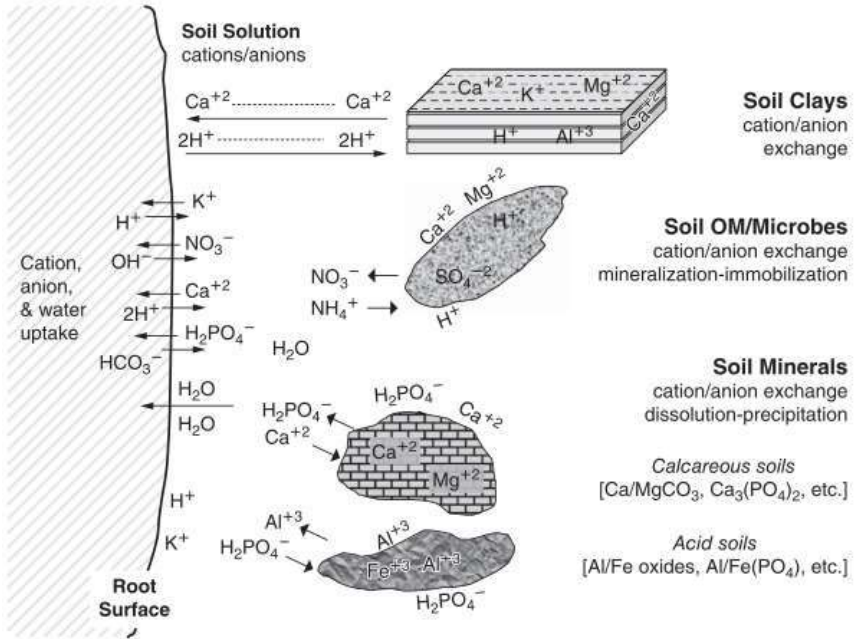
Besarnya jumlah kation yang terjerap oleh kompleks jerapan sangat tergantung kepada beberapa hal, yaitu:

- a) Konsentrasi ion pada larutan.
- b) Intensitas *leaching* dan kation yang terangkut.
- c) Kekuatan kompleks jerapan atau koloid tanah.

Adsorpsi ion oleh kompleks adsorpsi (misel) terutama bergantung pada jumlah kation dalam larutan dan kekuatan pengikatan ion-ion tersebut. Secara umum kapasitas adsorpsi ion terutama ditentukan oleh jumlah muatan ion dan kapasitas hidrasi. Ion bermuatan dan kapasitas hidrasi yang lebih tinggi semakin meningkatkan kemampuan kompleks adsorpsi untuk mengadsorpsi ion, yaitu yang disebut selektivitas kation, yaitu afinitas ionik. Tingkat adsorpsi ion berturut-turut adalah sebagai berikut:

$Al^{3+} > Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} = NH^{+} > Na^{+}$ (Deret Liotropi)

Selektivitas kation dipengaruhi oleh kapasitas jerap koloid tanah, jarak antara koloid tanah dengan inti atom dan jumlah atau konsentrasi suatu ion di dalam larutan tanah. Besarnya kemampuan misel dalam menjerap kation dinyatakan dengan kapasitas tukar kation (KTK) yang memiliki satuan meq 100 g⁻¹ atau cmol⁺ kg⁻¹. KTK suatu tanah sama dengan KTK fraksi mineral dan organik (Gambar 5.4). Sumber utama KTK pada fraksi mineral berasal dari tanah liat. Muatan negatif bahan organik terutama disebabkan oleh disosiasi H⁺ (deprotonasi) dari -OH gugus karboksil dan fenolik. KTK bahan organik tanah (SOM) berkisar antara 100 hingga 400 cmol/kg, tergantung pada derajat dekomposisinya. Oleh karena itu, KTK tanah dipengaruhi oleh jumlah dan jenis liat serta jumlah dan derajat dekomposisi bahan organik (Foth, 1990).



Gambar 4. 4. Mineral, bahan organik dan permukaan pertukaran pada akar di dalam tanah.

(Sumber: Havlin *et al.*, (2017))

KTK tanah sangat penting karena mempengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman, kemampuan tanah dalam mempertahankan unsur hara, dan kapasitas penyangga tanah terhadap perubahan pH. Tanah dengan KTK yang tinggi dapat meningkatkan fotosintesis tanaman dan toleransi tanaman terhadap stres, yang dapat berkontribusi pada biomassa tanaman dan serapan unsur hara yang lebih tinggi. Sifat-sifat tanah, seperti bahan organik tanah, pH, dan kation yang tersedia, dapat sangat mempengaruhi KTK dan harus dipertimbangkan ketika mengukur nilainya (Solly *et al.*, 2020). Nilai KTK pada koloid mineral dan bahan organik ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1. Nilai KTK Mineral dan Bahan Organik Tanah

Bahan	KTK (meq 100g ⁻¹ / Cmol _c Kg ⁻¹)	Kualifikasi
Kaolinit	2 – 10	Rendah
Illit	20 – 30	Sedang
Montmorilonit	80 – 100	Tinggi
Humus	50 – 200	Tinggi

Muatan negatif tanah terbagi menjadi 2 jenis yaitu muatan tidak bergantung pH (permanen) dan muatan bergantung pH. Muatan negative permanen berasal dari substitusi isomorfik dan biasanya terdapat pada mineral liat tipe 2:1. Muatan bergantung pH umumnya berubah sesuai dengan perubahan pH yang berasal dari dehidrogenasi gugus fungsional bahan mineral dan humus (bahan organik), khususnya pada tanah-tanah yang banyak mengandung humus dan liat tipe 1:1 (Anda *et al.*, 2001).

4.4 Kejenuhan Basa

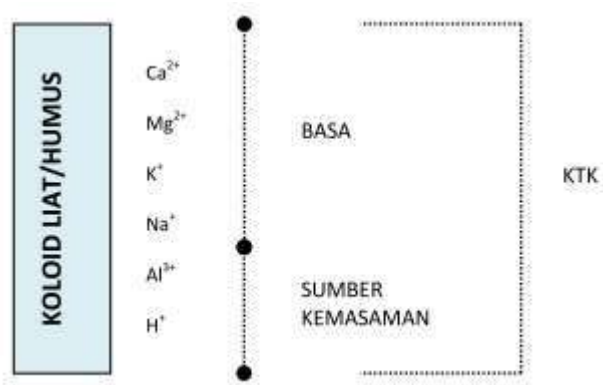
Kejenuhan basa merupakan perbandingan antara jumlah kation basa dengan kapasitas tukar kation tanah atau jumlah seluruh kation (kation basa dan asam) dalam kompleks jerapan tanah. Kation basa terdiri dari Ca-dd, Mg-dd, K-dd dan Na-dd, sedangkan kation asam meliputi Al-dd dan H-dd. Kejenuhan Aluminium menunjukkan kuantitas sumber kemasaman potensial (Gambar 4.5). Kejenuhan basa (KB) dan Kejenuhan Aluminium (KAl) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$KB = \frac{\text{Jumlah kation Basa}}{KTK} \times 100\%$$

atau

$$KB = \frac{\text{Jumlah kation Basa}}{\text{Jumlah kation Basa} + \text{Kation asam}} \times 100\%$$

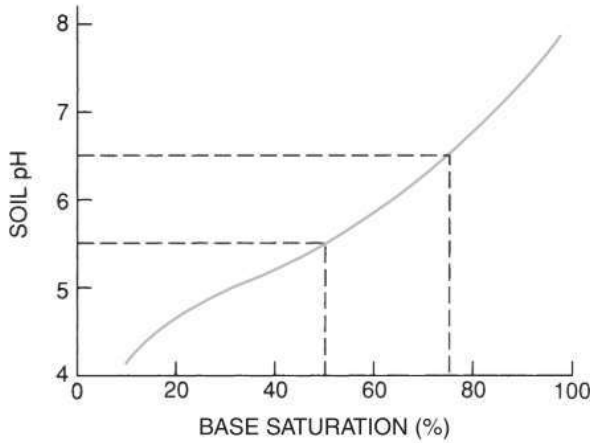
$$KAI = \frac{Al-dd}{KTK} \times 100\%$$



Gambar 4. 5. Muatan negatif koloid tanah dan pengikatan kation

(sumber: (Salam, 2020))

Nilai kejenuhan basa sangat berkaitan erat dengan pH tanah dan KTK tanah (Gambar 4.6). Peningkatan pH tanah mampu meningkatkan KTK tanah dikarenakan terjadinya dehidrogenasi gugus fungsional bahan mineral dan humus. Perubahan tersebut tergantung pada kandungan bahan mineral serta bahan organik pada tanah. Peningkatan KTK juga berdampak pada nilai kejenuhan basa yang cenderung dapat meningkat. Hal tersebut disebabkan muatan negatif yang timbul akibat peningkatan pH terisi oleh lebih banyak kation-kation basa (Salam, 1999; 2001; Adams dkk., 2004; Bang and Hesterberg, 2004; Quaghebeur dkk., 2005; He dkk., 2006; Brown dkk., 2009) . Dengan demikian, terdapat korelasi positif antara pH, KTK, dan KB tanah.



Gambar 4. 6. Hubungan antara pH tanah dan kejenuhan basa

Sumber: (Havlin *et al.*, 2017)

4.5 Unsur Hara Mineral

Dalam mendukung pertumbuhan dan melengkapi siklus hidupnya, tanaman memerlukan unsur hara esensial. Unsur hara esensial merupakan unsur hara yang sangat penting bagi tanaman dan berperan langsung dalam siklus metabolisme (Epstein and Bloom, 1953). Unsur hara esensial terbagi menjadi dua yakni unsur hara mineral dan non mineral. Unsur non mineral diperoleh dari atmosfer seperti Hidrogen, Karbon dan Oksigen. Unsur hara non mineral tersebut diserap dalam bentuk karbondioksida (CO_2) dan air (H_2O) yang kemudian diubah menjadi karbohidrat melalui proses fotosintesis. Kesuburan tanah salah satunya dipengaruhi oleh ketersediaan unsur hara mineral di dalam tanah. Terdapat 14 unsur hara mineral yang sangat penting bagi tanaman dan terbagi menjadi dua jenis berdasarkan jumlah kebutuhan tanaman yakni unsur hara makro dan unsur hara mikro (Tabel 4.2).

Tabel 4. 2. Daftar unsur hara makro dan mikro, mobilitas dan gejala defisiensinya

No.	Unsur esensial	Mobilitas	Gejala defisiensi
1.	Nitrogen	Bergerak (<i>mobile</i>)	Tanaman menguning dan kerdil dengan peningkatan kerentanan terhadap stres.
2.	Fosfor	Bergerak (<i>mobile</i>)	Tanaman kerdil secara keseluruhan dan perkembangan akar buruk dengan daun berwarna ungu (gelap) hingga kemerahan
3.	Kalium	Bergerak (<i>mobile</i>)	Tepi daun mengering seperti terbakar dan beberapa menunjukkan gejala nekrotik (berbintik). Rentan terhadap stres kekeringan dan biji buah buah kecil.
4.	Calcium	Tidak Bergerak (<i>immobile</i>)	Pertumbuhan akar terhambat, akar sering berubah menjadi hitam dan membusuk. Kegagalan tunas terminal dan ujung apikal akar untuk berkembang.
5.	Magnesium	Bergerak (<i>mobile</i>)	Daun berwarna kekuningan, coklat, atau kemerahan namun tulang daun tetap berwarna hijau.
6.	Sulfur	Tidak Bergerak	Warna daun muda berubah menjadi hijau muda, tidak merata,

		(<i>immobile</i>)	sedikit mengkilap agak keputihan, kemudian berubah menjadi kuning kehijauan. Pertumbuhan tanaman lambat, kerdil, kurus dan berbatang pendek.
7.	Tembaga	Tidak Bergerak (<i>immobile</i>)	Ukuran daun berkurang. Daun berwarna kuning pucat seragam. Daun kekurangan turgor dan dapat berubah warna menjadi hijau kebiruan, klorosis, dan menggulung. Tanaman gagal berbunga atau rontok.
8.	Mangan	Tidak Bergerak (<i>immobile</i>)	Klorosis pada bagian intervein (ketidalcukupan membentuk klorofil) dan terdapat bercak kecoklatan.
9.	Besi	Tidak Bergerak (<i>immobile</i>)	Klorosis pada bagian intervein (ketidalcukupan membentuk klorofil). Daun menguning atau hijau muda namun tulang daun tetap hijau.
10.	Boron	Tidak Bergerak (<i>immobile</i>)	Ukuran daun mengecil, daun menggulung dan merubah bentuk daun baru,. Klorosis interveinal jika defisiensi parah. Dapat menyebabkan keguguran bunga atau buah, pengisian biji-bijian tidak optimal buruk, dan menghambat pertumbuhan.

11.	Nikel	Bergerak (<i>mobile</i>)	Menghambat penyerapan zat besi dan produksi enzi urease.
12.	Molibdenu m	Tidak Bergerak (<i>immobile</i>)	Klorosis interveinal, layu, dan nekrosis marginal pada daun bagian atas.
13.	Klorin	Bergerak (<i>mobile</i>)	Klorosis pada daun bagian atas dan tanaman layu secara keseluruhan. Defisiensi dapat terlihat pada daun bagian atas, meskipun bersifat mobile
14.	Seng	Tidak Bergerak (<i>immobile</i>)	Ruas antara daun baru memendek, matinya jaringan meristematik, daun baru berubah bentuk, dan klorosis interveinal.

Sumber: (Havlin *et al.*, 2017).

4.5.1. Unsur Hara Makro

Unsur hara makro merupakan unsur hara esensial yang diperlukan tanaman dalam jumlah yang besar untuk melengkapi siklus hidupnya. Unsur hara makro terbagi menjadi dua yaitu makro primer dan sekunder (Permana *et al.*, 2023) . Unsur hara makro primer cenderung lebih besar dibutuhkan oleh tanaman dibandingkan dengan makro sekunder. Ketersediaan unsur hara makro primer di dalam tanah secara alami masih belum mencukupi kebutuhan tanaman sehingga perlu ditambahkan melalui kegiatan pemupukan. Unsur hara makro sekunder umumnya lebih banyak ditemukan secara alami di dalam tanah namun tetap ditambahkan apabila tanaman menunjukkan gejala defisiensi. Ketersediaan unsur hara makro dipengaruhi oleh pH tanah, koloid dan kapasitas tukar kation tanah. Sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 5.1, unsur hara makro primer banyak tersedia pada pH 7 (netral). Berikut merupakan fungsi unsur hara makro dan primer bagi tanaman (Tabel X):

Tabel 4. 3. Peran Unsur hara makro primer dan sekunder bagi tanaman

No.	Unsur Hara Makro	Peran Bagi Tanaman
Makro Primer		
1.	Nitrogen	Pembentukan asam amino, penyusun klorofil dan berperan dalam seluruh reaksi enzimatis
2.	Fosfor	Transfer energi Adenosin Difosfat (ADP) dan Adenosin Trifosfat (ATP), aktivator enzim, serta berperan langsung dalam proses metabolisme yang tinggi dan pembelahan sel yang cepat seperti di

No.	Unsur Hara Makro	Peran Bagi Tanaman
		pucuk dan ujung akar, saat inisiasi bunga, dan pembentukan, perkembangan dan pematangan biji dan buah.
3.	Kalium	Membantu pembentukan protein dan karbohidrat, memperkuat daun, bunga dan buah agar tidak rontok atau gugur dan meningkatkan ketahanan tanaman dalam menghadapi cekaman kekeringan dan serangan penyakit.
Makro Sekunder		
4.	Magnesium	Pembentukan hijau daun daun transportasi fosfat
5.	Kalsium	Merangsang pertumbuhan bulu akar, pembentukan biji, menguatkan batang, dan meningkatkan daya adaptasi tanaman terhadap cekaman lingkungan.
6.	Sulfur	Pembentukan asam amino dan bintil akar.

Sumber : (Purba *et al.*, 2021; Purba, Situmeang and Rohman, 2021)

4.5.2. Unsur Hara Mikro

Unsur hara mikro adalah unsur hara yang dibutuhkan dalam jumlah yang kecil. Meskipun dibutuhkan dalam jumlah yang sedikit kekurangan unsur mikro akan menghambat pada pertumbuhan bahkan berpengaruh pada potensi hasil pertanian. Secara umum unsur mikro berfungsi sebagai kofaktor enzimatik, karena mikronutrien umumnya memainkan peran katalitik yang hanya dibutuhkan dalam jumlah yang kecil. Keberadaan unsur

hara mikro yang terlalu besar di dalam tanah akan menjadi racun bagi tanaman. Unsur yang termasuk dalam hara mikro adalah Zn, Fe, Cu, B, Mn, Mo, Cl, dan Co (Jones, C., & Olson-Rutz, 2016).

Unsur-unsur mikro berasal dari mineral-mineral dalam bahan induk tanah dan bahan organik. Tanah-tanah yang kekurangan unsur mikro diantaranya adalah tanah pasir yang telah mengalami pencucian lebih lanjut, tanah organik (gambut) dimana unsur Cu terkadang terikat kuat sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman, tanah dengan pH alkalis, dan tanah yang ditanami secara terus-menerus dengan menambahkan hara makro.

Faktor utama yang mempengaruhi keberadaan unsur mikro adalah pH, drainase tanah, jerapan liat dan reaksi kimia, dan Ikatan dengan bahan organik. pH yang sangat masam atau alkalis beberapa unsur akan terikat atau tidak tersedia sehingga tidak dapat diserap oleh tanaman.

Tabel 4. 4. Peran Unsur hara mikro bagi tanaman

No.	Jenis Hara Mikro	Peran Bagi Tanaman
1.	Klor	Meningkatkan bobot kering tanaman
2.	Besi	Pembentukan zat hijau daun
3.	Mangan	Membantu proses asimilasi, kofaktor enzim, dan aktivasi indole acetic acid (IAA) oksidasi
4.	Tembaga	Activator enzim sitokrom-oksidade, askorbit-oksidade, asam butirat- fenolase dan laktase, membantu metabolisme karbohidrat dan protein, serta membantu perkembangan tanaman tahap generatif.

No.	Jenis Hara Mikro	Peran Bagi Tanaman
5.	Boron	Pengangkutan karbohidrat ke dalam tubuh tanaman dan Membantu proses fisiologis tanaman seperti perkembangan akar, pembungaan, perkecambahan serbuk sari, pembuahan, dan pembentukan buah serta biji.
6.	Molibdenum	Pembentuk protein, berperan dalam fiksasi N ₂ di udara melalui proses nitrogenase.
7.	Seng	Pembentuk hormon tumbuh, berperan dalam biosintesis asam indol asetat, sintesis protein dan sintesis protein, pematangan biji-bijian dan biosintesis auksin dan pemanjangan sel serta ruas batang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anda, M. *et al.* (2001) 'Penetapan Nilai Muatan Nol dan Pengaruh Pemberian P, Terak Baja, Bahan Organik dan Kapur terhadap Muatan Koloid dan Kualitas Oxisols', *Jurnal Tanah dan Iklim*, (19), pp. 1–14. Available at: <https://media.neliti.com/media/publications/132585-ID-none.pdf>.
- Anderson, C. R. *et al.* (2018) 'Rapid increases in soil pH solubilise organic matter, dramatically increase denitrification potential and strongly stimulate microorganisms from the Firmicutes phylum', *PeerJ*, 2018(12). doi: 10.7717/peerj.6090.
- Al Ani, T. and Sarapää, O. (2008) 'Clay and clay mineralogy', *Geochemical survey of finland*, (January 2008), pp. 1–94. Available at: https://www.researchgate.net/publication/292706105_Clay_and_clay_mineralogy.
- Areal, P. *et al.* (2018) 'KARAKTERISTIK BEBERAPA SIFAT KIMIA DAN FISIK TANAH Characteristics of Some Chemical And Physical Properties on Clove', 6(4), pp. 553–562.
- Asril, M. *et al.* (2022) *Ilmu Tanah*. Yayasan Kita Menulis.
- Balasubramanian, A. (2017) 'Chemical Properties of Soils By', (March).
- Basuki, B. and Sari, V. K. (2020) 'Efektifitas Dolomit Dalam Mempertahankan pH Tanah Inceptisol Perkebunan Tebu Blimbing Djatiroto', *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 11(2), p. 58. doi: 10.21082/btsm.v11n2.2019.58-64.
- Basuki and Winarso, S. (2021) 'Peta Sebaran pH Tanah, Bahan Organik Tanah, dan Kapasitas Pertukaran Kation sebagai Dasar Rekomendasi Aplikasi Bahan Organik dan Dolomit pada Lahan Tebu', *Buletin Tanaman Tembakau, Serat & Minyak Industri*, 13(2), pp. 78–93. doi: 10.21082/btsm.v13n2.2021.78-93.

- Beamlaku, A. and Habtemariam, T. (2021) 'Soil Colloids, Types and their Properties: A review', *Open Journal of Bioinformatics and Biostatistics*, 5, pp. 008–113. doi: 10.17352/ojbb.000010.
- Elias, E. (2016) *Soils of the Ethiopian highlands: Geomorphology and properties*, University and Wageningen Research Centre. CASCAPE Project, ALTERA, . Wageningen UR, The Netherlands.
- Foth, H. D. (1990) *Fundamental of Soil Science 8th Edition*.
- Hartemink, A. E. (2006) 'Soil fertility decline: Definitions and assessment', *Encyclopedia of Soil Science*, pp. 1618–1621. doi: 10.1081/E-ESS-120041235.
- Havlin, J. L. et al. (2017) *Soil Fertility and Fertilizers: An Introduction to Nutrient Management Title Soil Fertility and Fertilizers*.
- Jones, C., & Olson-Rutz, K. (2016) 'Plant Nutrition and Soil Fertility', *Plant Nutrition and Soil Fertility*.
- Mallarino, A. P. and Haq, M. U. (2017) 'Evaluation of agricultural lime and pelleted lime to increase soil pH and crop yield', *Proceedings of the 47th North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference. Des Moines, IA. 15-16 Nov. 2017*, pp. 109–117.
- Najafi, S. and Jalali, M. (2016) 'Effect of heavy metals on pH buffering capacity and solubility of Ca, Mg, K, and P in non-spiked and heavy metal-spiked soils', *Environmental Monitoring and Assessment*. Environmental Monitoring and Assessment, 188(6), pp. 1–11. doi: 10.1007/s10661-016-5329-9.
- Neina, D. (2019) 'The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation', *Applied and Environmental Soil Science*, 2019(3). doi: 10.1155/2019/5794869.
- Nursyamsi, D. and Suprihati. (2019) 'Sifat-sifat Kimia dan Mineralogi Tanah serta Kaitannya dengan Kebutuhan Pupuk untuk Padi (*Oryza sativa*), Jagung (*Zea mays*), dan Kedelai (*Glycine max*) Soil Chemical and Mineralogical Characteristics and Its Relationship and Soybean (*Glycine max*)', *Bul. Agron.*, 47(33), pp. 40–47.

- Parr F, J. *et al.* (1992) 'Soil Quality: Attributes and relationship to alternative and sustainable agriculture', *American Journal of Alternative Agriculture*, 7, pp. 5–11.
- Permana, I. *et al.* (2023) *Kesuburan Tanah dan Pemupukan*, Get Press I. Edited by D. P. Sari. Get Press Indonesia.
- Purba, T. *et al.* (2021) *Tanah Dan Nutrisi Tanaman, Yayasan Kita Menulis*.
- Purba, T., Situmeang, R. and Rohman, H. F. (2021) *Pemupukan dan Teknologi Pemupukan, Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Salam, A. K. (2020) *Ilmu Tanah, Akademika Pressindo*.
- Solly, E. F. *et al.* (2020) 'A Critical Evaluation of the Relationship Between the Effective Cation Exchange Capacity and Soil Organic Carbon Content in Swiss Forest Soils', *Frontiers in Forests and Global Change*, 3(September), pp. 1–12. doi: 10.3389/ffgc.2020.00098.
- Weil, R. R. and Brady, N. C. (2016) 'The Nature and Properties of Soils. 15th edition', (April), p. 933. Available at: https://www.researchgate.net/publication/301200878_The_Nature_and_Properties_of_Soils_15th_edition.
- Xu, Z. *et al.* (2020) 'Soil pH and C/N ratio determines spatial variations in soil microbial communities and enzymatic activities of the agricultural ecosystems in Northeast China: Jilin Province case', *Applied Soil Ecology*. Elsevier, 155(5268), p. 103629. doi: 10.1016/j.apsoil.2020.103629.

BAB 5

PERANAN MINERAL DI DALAM TANAH

Oleh Halisah Suriani

5.1 Pendahuluan

Mirip dengan makhluk hidup lainnya, tumbuhan membutuhkan nutrisi untuk perkembangan dan produksinya. Selama siklus hidupnya, ia membutuhkan setidaknya enam belas nutrisi penting, tiga di antaranya ditemukan di tanah dan atmosfer: karbon, hidrogen, dan oksigen. Penambahan pupuk organik dan anorganik, mineralisasi tanah, bahan organik tanah, dan fosfor tanah, kalium, kalsium, magnesium, belerang, besi, seng, mangan, tembaga, boron, molibdenum, dan klorin merupakan sumber unsur lainnya.

Setiap varietas tanaman mempunyai kebutuhan nutrisi minimum dan optimal yang berbeda-beda, sehingga menghasilkan rentang nutrisi yang berbeda pula. Ketika tingkat unsur hara berada pada titik minimal, tanaman akan menunjukkan tanda-tanda kekurangan; ketika tingkat nutrisi berlebihan, terjadi toksisitas, yang ditandai dengan pertumbuhan dan produksi yang menyimpang. Oleh karena itu, sangat penting untuk menjaga kuantitas dan keseimbangan unsur hara di dalam tanah, mungkin dengan memupuk tanah....

Di antara komponen terpenting pertanian kontemporer adalah pemeliharaan dan pengelolaan nutrisi tanaman. Di bidang pertanian, penambahan unsur hara mineral ke dalam tanah telah diketahui selama lebih dari 2.000 tahun mempunyai dampak positif terhadap pertumbuhan tanaman. (Marschner, 1986).

Tidak mungkin mengetahui apakah mineral tertentu diperlukan untuk pertumbuhan tanaman hanya dengan melihat kandungannya di dalam tubuh tumbuhan (Hartman et al., 1981). Nutrisi mineral dikategorikan nutrisi esensial, menurut Epstein (1972), dan harus memenuhi setidaknya tiga persyaratan. Hal-hal tersebut adalah: 1) Tanaman membutuhkan nutrisi ini untuk menyelesaikan siklus hidupnya; 2) zat gizi lain tidak dapat menggantikan tempatnya di dalam tubuh; dan 3) unsur hara ini berperan langsung dalam metabolisme tanaman, khususnya bila diperlukan untuk reaksi enzimatik. Karena satu unsur hara mineral mungkin diperlukan untuk tanaman tertentu tetapi tidak untuk tanaman lain, maka sangat sulit untuk menggeneralisasikan apakah suatu unsur hara mineral penting atau tidak esensial.

5.2 Klasifikasi Kandungan Mineral dan Ketersediaan Tumbuhan

Karena terdapat banyak jenis unsur hara tanaman, para peneliti mengkategorikannya ke dalam tiga kategori utama untuk memudahkan penelitian: jumlah yang dibutuhkan, cara unsur hara digunakan oleh tanaman, dan mobilitasnya di seluruh floem.

Berdasarkan kebutuhannya, unsur hara dikelompokkan sebagai berikut: (a) Unsur hara esensial, atau unsur hara yang memenuhi empat syarat: (1) unsur hara yang dibutuhkan

tanaman untuk berkembang dan menyelesaikan siklus hidupnya; (2) zat gizi yang penting bagi fungsi fisiologis dan unik; (3) makanan yang mengontrol dan meningkatkan aktivitas enzim; (4) nutrisi penting yang merupakan komponen penting metabolisme. (b) Nutrisi yang merangsang pertumbuhan tanpa diperlukan oleh spesies tertentu disebut sebagai nutrisi bermanfaat. Nutrisi yang bermanfaat menurut Marschner (1986), Kobalt (Co), natrium/Na, silikon (Si), nikel (Ni), selenium (Se), dan aluminium (Al); (c) nutrisi non-esensial, disebut juga zat gizi fungsional, adalah zat-zat gizi yang tidak memenuhi empat persyaratan penting yang disebutkan di atas.

Unsur hara esensial dipisahkan menjadi dua kelompok sesuai dengan jumlah yang dibutuhkan tanaman. Golongan pertama terdiri dari Sembilan zat gizi makro yang relatif besar adalah unsur (C, H, O, N, P, K, S, Ca, dan Mg); golongan kedua disebut unsur hara mikro, yang relatif kecil ada 7 unsur (Fe, B, Mn, Zn, Cu, Mo, dan Cl). Pembedaan antara nutrisi skala besar dan kecil dilakukan secara sewenang-wenang dan tanpa dasar yang kuat. Sebenarnya pembedaan ini tidak ada artinya karena sangat bergantung pada jenis tanaman dan keadaan sekitar.

Unsur hara dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan cara pergerakannya melalui floem: unsur hara bergerak (K, Na, Mg, P, S, Cl, dan Rb); unsur hara antara (Fe, Mn, Zn, Co, dan Mo); dan unsur hara terimobilisasi (Li, Cs, Sr, Ba, dan B).

Selain mengklasifikasikan unsur hara berdasarkan jumlah yang dibutuhkan tanaman, terdapat berbagai skema klasifikasi. Mengel dan Kirkby. (1982) mengklasifikasikan menjadi empat kategori berdasarkan karakteristik fisiologis dan biokimianya. Kategori-kategori tersebut adalah sebagai berikut: Anggota Golongan 1 adalah C, H, O, N, dan S yang berpartisipasi dalam reaksi oksidasi-reduksi dan proses enzimatik sebagai komponen

utama molekul organik. P dan B terdiri dari Golongan 2. Unsur ini berpartisipasi dalam reaksi esterifikasi dengan gugus alkohol pada tumbuhan serta transmisi energi. Golongan 3 : termasuk K, Ca, Mg, Mn, dan Cl. Komponen ini mempengaruhi keseimbangan ion dan tekanan osmotik. Berperan khusus dalam katalisis dan konfirmasi enzim juga. Dan golongan 4 : terdiri dari Mo, Zn, Cu, dan Fe. Karena perubahan valensi, unsur ini, yang ada sebagai kelat struktural, memungkinkan transit elektron. Unsur hara tanaman digolongkan menjadi golongan nonlogam seperti N, P, S, B, dan Cl, serta golongan logam seperti K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn, Cu, dan Mo.

Tabel 5.1 mencantumkan komponen-komponen penting tanaman tingkat tinggi bersama dengan konsentrasi yang dapat diterima dari unsur-unsur tersebut dalam jaringan (berdasarkan berat kering; Brown et al., 1987 dalam Salisbury dan Ross, 1992).

Tabel 5. 1. Komponen-komponen penting tanaman tingkat tinggi

Unsur (lambang kimia)	Bentuk yang dapat diambil oleh tumbuhan	Bobot Atom	Konsentrasi pada jaringan kering		Jumlah atom dibandingkan molibdnum
			mg/kg	(%)	
Molibdenum (Mo)	MoO_4^{2-}	95,95	0,1	0,00001	1
Nikel (Ni)	Ni^{2+}	58,71	?	?	?
Tembaga (Cu)	Cu^+ , Cu^{2+}	63,54	6	0,0006	100
Seng (Zn)	Zn^{2+}	65,38	20	0,0020	300
Mangan (Mn)	Mn^{2+}	54,94	50	0,00	1.000

Unsur (lambang kimia)	Bentuk yang dapat diambil oleh tumbuhan	Bobot Atom	Konsentrasi pada jaringan kering		Jumlah atom dibandingkan molibdnum
			mg/kg	(%)	
				50	
Boron (B)	H ₃ BO ₃	10,82	20	0,002	2.000
Besi (Fe)	Fe ³⁺ , Fe ²⁺	55,85	100	0,010	2.000
Klor (Cl)	Cl ⁻	35,46	100	0,010	3.000
Belerang (S)	SO ₄ ⁻²	32,07	1.000	0,1	30.000
Fosfor (P)	H ₂ PO ₄ ⁻²	30,98	2.000	0,2	60.000
Magnesium (Mg)	Mg ²⁺	24,32	2.000	0,2	80.000
Kalsium (Ca)	Ca ²⁺	40,08	5.000	0,5	125.000
Kalium (K)	K ⁺	39,10	10.000	1,0	250.000
Nitrogen (N)	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺	14,01	15.000	1,5	1.000.000
Oksigen (O)	O ₂ , H ₂ O	16,00	450.000	45	30.000.000
Karbon (C)	CO ₂	12,01	450.000	45	35.000.000
Hidrogen(H)	H ₂ O	1,01	60.000	6	60.000.000

Tiga belas kategori unsur hara esensial diketahui ada pada tumbuhan, dan dibagi dua kelompok: unsur hara makro (N, P, K, S, Mg, dan Ca) dan unsur mikro (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo), dan Cl) (Janick dkk., 1974; Hartman dkk,1981; Baligar dan Duncan, 1990). Selain itu, daftar nutrisi penting dan konsentrasinya di

berbagai jaringan disajikan oleh Brown et al. (1987 dalam Salisbury dan Ross, 1992), guna mendukung pertumbuhan tanaman yang sehat (Tabel 5.1). Karena konsentrasi unsur-unsur dalam jaringan, khususnya pada daun tertentu, merupakan indikator yang lebih akurat mengenai apakah suatu tanaman akan berkembang lebih cepat atau lebih efisien jika unsur tertentu diberikan lebih banyak, dibandingkan dengan analisis tanah, dinyatakan bahwa nilai-nilai konsentrasi ini merupakan Panduan bermanfaat bagi petani, tukang kebun, dan ahli fisiologi.

Sekitar 90% berat segar tanaman herba terdiri dari air, dan 10% sisanya terdiri dari bahan kering yang sebagian besar terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen. Unsur-unsur lain yang mutlak diperlukan untuk pertumbuhan tanaman merupakan bagian kecil namun signifikan dari bahan kering. Unsur-unsur tersebut berjumlah 13 dan tergolong unsur esensial tumbuhan. Selain itu, ketiga belas unsur hara esensial tersebut selanjutnya dipisahkan menjadi dua kelompok sesuai dengan jumlah relatif yang dibutuhkan tanaman: unsur hara makro (N, P, K, Ca, Mg, dan S) yang dibutuhkan dalam jumlah relatif besar, dan unsur hara mikro (Fe, Mn), Zn, B, Mo, Co, dan Cl) dibutuhkan dalam jumlah yang relatif kecil, biasanya. Dinyatakan dalam ppm (parts per Million) per unit bahan. kering. (Janick dkk, 1974).

Menganalisis setiap unsur dan jumlah unsur yang terdapat pada tanaman sehat secara kimia merupakan salah satu cara untuk mengetahui unsur hara apa saja yang penting dan berapa jumlahnya bagi tanaman. Berdasarkan temuan penyelidikan kontemporer terhadap daun bendera selebaran yang paling dekat dengan tongkol. Jagung yang belum menghasilkan yang diambil dari daun jagung di kebun yang subur, salisbury dan ross (1992) melaporkan bahwa jagung mengandung tiga unsur penting lainnya: seng, tembaga, dan boron.

5.3 Peran Nutrisi Mineral dalam Fisiologi Tumbuhan

Menurut fisiologi tumbuhan, unsur hara yang diserap tumbuhan akan mempunyai tujuan tertentu. Hanya 16 dari 90 jenis unsur yang diketahui diperlukan terdapat dalam tubuh tumbuhan dalam jumlah sedikit (Fageria, 1984). Berikut ini adalah peran umum nutrisi mineral:

1. Sebagai penyusun dinding sel dan protoplasma. Nutrisi tertentu, seperti S dalam protein, P dalam ATP, Mg dalam klorofil, dan Ca dalam kalsium pektat, merupakan komponen penting dari molekul sel.
2. Memodifikasi permeabilitas membran sitoplasma. Unsur yang bervalensi 1 meningkatkan permeabilitas, tetapi unsur yang mengandung Ca dan unsur yang bervalensi 2 atau 3 menurunkan permeabilitas.
3. Dalam reaksi kimia sebagai katalis. Misalnya, Mg, Mn, dan Co dapat mempercepat atau memperlambat kerja enzimatik Fe, Cu, dan Zn merupakan komponen enzim tertentu (bagian prostetik); Fe juga merupakan penyusun sitokrom.
4. Sebagai penyangga keasaman sel. K, Ca, Na, dan Mg merupakan kation penting bagi sistem pendukung tanaman.

Setiap unsur hara mineral mempunyai efek dan fungsi unik pada tanaman. Tabel 5.2 mencantumkan fungsi unsur hara makro dan bentuk ketersediaannya bagi tanaman, sedangkan Tabel 5.3 mencantumkan fungsi unsur hara mikro dan bentuk ketersediaannya bagi tanaman.

Tabel 5. 2. Peran unsur hara makro dan bentuk tersedia bagi tanaman

Unsur hara	Fungsi Fisiologis	Bentuk tersedia
Carbon (C)	Sebagai bahan penyusun molekul dasar lipid, protein, karbohidrat, dan asam nukleat.	CO ₂
Oksigen (O)	Mirip dengan karbon, oksigen adalah komponen molekul organik yang ditemukan pada tumbuhan.	O
Hidrogen (H)	mempunyai peranan penting dalam aktivitas metabolisme tanaman.	H ₂ O
Nitrogen (N)	Penting untuk menjaga keseimbangan ion dan berfungsi sebagai zat pereduksi utama, misalnya ketika mereduksi nitrat menjadi amonia.	NH ₄ ⁺ dan NO ₃ ⁻
Fosfor (P)	komponen dari berbagai molekul kimia penting yang ditemukan pada tanaman, termasuk hormon, protein, enzim, vitamin B kompleks, dan klorofil.	H ₂ PO ₄ ⁻ dan HPO ₄ ²⁻
Kalium (K)	mempunyai peran dalam pengangkutan karbohidrat, metabolisme protein dan karbohidrat, serta transfer	K ⁺

Unsur hara	Fungsi Fisiologis	Bentuk tersedia
Kalsium (Ca)	energi pada sel daun. Sebagai aktivator dan kofaktor enzim yang terlibat dalam metabolisme protein dan karbohidrat, serta pengatur keseimbangan ion dan tekanan osmotik pada tumbuhan.	Ca^{2+}
Magnesium (Mg)	penyusun lamela tengah, membantu pembelahan sel, dan menjaga stabilitas integritas membran.	Mg^{2+}
Sulfur (S)	Kandungan klorofil berfungsi sebagai unsur penghubung dalam produksi protein, serta kofaktor dalam berbagai reaksi enzimatik dan pengaturan pH pada sel tumbuhan merakit protein, berkontribusi terhadap masalah energi sel tanaman.	SO_4^{2-} dan SO_2

Tabel 5. 3. Bentuk dan fungsi unsur hara mikro yang tersedia bagi tanaman

Unsur hara	Fungsi Fisiologis	Bentuk tersedia
Zat Besi (Fe)	Fe merupakan pembawa yang merupakan bagian dari enzim dan digunakan dalam aktivitas metabolisme seperti transfer elektron, fotosintesis, dan fiksasi N.	Fe^{2+} dan Fe^{3+}
Seng (Zn)	komponen penting dari beberapa enzim, termasuk glutamat dehidrogenase, malat dehidrogenase, karbonat anhidrase, proteinase, peptidase, dan alkohol dehidrogenase.	Zn^{2+}
Mangan (Mn)	komponen enzim fosfotransferase dan arginase serta terlibat dalam jalur persiapan O_2 selama fotosintesis.	Mn^{2+}
Tembaga(Cu)	adalah komponen dari beberapa enzim, seperti lakase, oksidase asam askorbat, dan oksidase sitokrom.	Cu^{2+}
Boron (B)	Meskipun peran B secara pasti masih belum diketahui,	H_3BO_3

Unsur hara	Fungsi Fisiologis	Bentuk tersedia
Molibdenum (Mo)	hal ini diyakini terkait dengan sintesis dinding sel tumbuhan dan metabolisme karbohidrat. Sebagai komponen penting dari enzim pengikat N₂ nitrat reduktase dan nitrogenase, tanaman diperlukan untuk menyerap N.	MoO ₄ ²⁻
Khlor (Cl)	Menjaga dan mengatur tekanan osmotik sel tumbuhan yang berkembang di tanah yang tidak cocok. Ia juga bertindak sebagai penggerak enzim yang memecah air dalam proses fotosintesis, mempunyai salinitas yang tinggi.	Cl ⁻

DAFTAR PUSTAKA

- Baligar, V. C. and R.R. Duncan. 1990. Crops as Enhancers of Nutrient Use. Academic Press, Inc. Toronto. 574p.
- Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition Of Plants: Principles And Perspectives John Wiley And Sons, Inc. Toronto. 412p.
- Foy, C. D., R. L. Chaney and M. C. White. 1978. The Physiology of Metal Toxicity in Plants. Annual Review of Plant Physiology 29:561-566.
- Hartmann, H. T., W. J. Flocke and A. M. Koefoed. 1981. Plant Science Prentice Hall, Inc. New Jersey. p. 206-215.
- Marschner, H. 1986. Mineral Nutrition in Higher Plants. Academic Press Inc, London Ltd. 674p.
- Mengel, K. and E.A. Kirkby. (1982). Principles of plant nutrition. International potash institute, Bern, Switzerland.
- Reijntjes, C., B. Haverkort and W. Bayers. Farming for the Future. An Introduction to Low External Input and Sustainable Agriculture. The Macmillan Press Ltd. Terjemahan: Y. Sukoco. Pertanian Masa Depan. Pengantar untuk Pertanian Berkelanjutan dengan Input Luar Rendah. Penerbit Kanisius. 270 hal.
- Salisbury, F. B. and C. W. Ross. 1992. Plant Physiology 4th Edition. Terjemahan: Diah R. Lukman dan Sumaryono. Fisiologi Tumbuhan. Jilid I. Penerbit ITB Bandung. 241 hal.
- Vegaria, N.K. (1991). Fertilization and mineral nutrition of rice, EMBRAPA- CNPAF/Editora Campus, Rio de Janeiro.
- Wijaya, K.A. 2006. Nutrisi Tanaman Sebagai Penentu Kualitas Hasil dan Resistensi Alami Tanaman. Prestasi: Pustaka Publisher.

BAB 6

BAHAN ORGANIK TANAH (SUMBER, PROSES DAN PERANAN BAHAN ORGANIK TANAH)

Oleh Bambang Hariyanto

6.1 Pendahuluan

Bahan organik tanah berasal dari sisa-sisa tanaman hijau, kotoran hewan yang mengendap di permukaan tanah dan bercampur dengan bahan mineral lainnya yang berada di tanah. Bahan organik ini selanjutnya diurai (didekomposisi) oleh beberapa jenis organisme tanah (mikroorganisme). Jumlah total dari semua bahan organik alami dan yang diubah secara biologis yang ditemukan di dalam tanah atau di permukaan tanah terlepas dari sumbernya, apakah bahan organik itu hidup atau mati, atau dalam tahap penguraian, dan tidak termasuk bagian tanaman hidup yang berada di atas tanah disebut dengan bahan organik tanah (Jones, 2012).

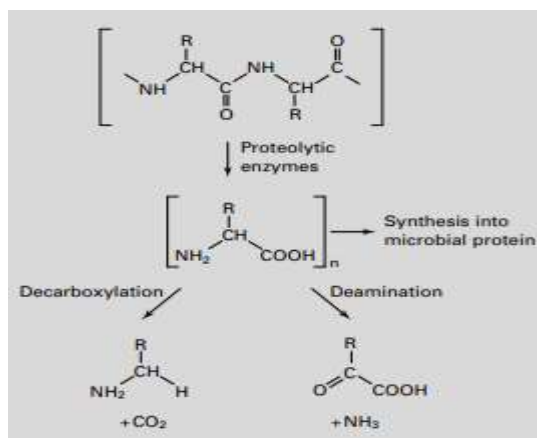
Kembalinya residu tanaman dan hewan ke dalam tanah jumlahnya berbeda setiap tahun dan dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti iklim, jenis vegetasi tanaman dan pemanfaatan lahan yang digunakan. Tabel 1 di bawah ini menunjukkan kandungan C-organik (t/ha) dari beberapa jenis pemanfaatan lahan atau vegetasi tanaman.

Tabel 6. 1. Laju tahunan kembalinya residu tanaman ke tanah.

Pemanfaatan lahan atau jenis vegetasi tanaman	Kandungan C-organik (t/ha)
Padang rumput beriklim sedang	2-4
Hutan gugur	1.5-4
Hutan hujan tropis (Afrika Barat)	10
Hutan alpine dari arktik	0,1-0,4
Hutan jenis konifera	1,5-3
Hutan hujan tropis (Columbia)	4-5
Pertanian yang subur (sereal)	1-2

Sumber: White (2006).

Sel tanaman terdiri dari protein, karbohidrat, lemak, asam organik, pigmen, lignin, resin dan lilin. Karbohidrat (gula seperti fruktosa, glukosa dan sukrosa) dan pati merupakan salah satu bagian terbesar dari sel tanaman yang mudah terurai dibandingkan selulosa dan hemiselulosa yang lebih lambat terurai. Selama proses dekomposisi, terjadi proses mineralisasi dimana beberapa bahan organik diubah menjadi bentuk anorganik. Selanjutnya bahan-bahan ini akan mengalami penguraian dimana proses penguraian ini dibantu oleh enzim yang dihasilkan dari mikroorganisme spesifik. Metabolisme protein dan sintesis protein menjadi asam amino (proteolysis) (Gambar 6.1) pertama-tama dimulai pada daun yang tua sebelum jatuh ke tanah.



Gambar 6. 1. Tahapan proses proteolisis
(Sumber : White, 2006)

Ada atau tidaknya surplus N-amino yang dihasilkan dari proses ini dapat mengakibatkan terjadinya proses mineralisasi yang dipengaruhi oleh rasio C/N dan sifat mikroorganisme pengurai. Pada umumnya, rasio $\text{C/N} < 20$ menyebabkan terjadinya mineralisasi, sedangkan $\text{C/N} > 20$ akan terjadi imobilisasi. Tabel 6.2 menunjukkan adanya keragaman C/N rasio yang dihasilkan dari sisa kotoran hewan, tanaman, limbah dari serasah tanaman segar yang diberikan kembali ke dalam tanah, yaitu berkisar 7-120, dimana serasah sereal memiliki rasio C/N tertinggi sedangkan terendah adalah tanah (63 lokasi di Amerika Serikat).

Tabel 6. 2. Rasio C/N dari beberapa bahan organik (serasah tanaman yang baru jatuh ke tanah, pupuk kandang) dan tanah.

Bahan organik (serasah tanaman yang baru jatuh ke tanah, pupuk kandang) dan tanah	C/N rasio
Serasah sereal	40-120
Pinus	91
Kayu keras berasal dari iklim sedang	25-44
Spesies hutan tropis	27-32
Kacang-kacangan	15-25
Pupuk kandang	20
Tanah hutan	11-44
Lahan yang lama dimanfaatkan, dipupuk dan tidak dipupuk	8-10 7-26
Tanah (63 lokasi di Amerika Serikat)	11-12
Padang rumput	

Sumber: White (2006).

6.2 Karakteristik Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah memiliki beberapa karakteristik. Tabel 6.3 dibawah ini menunjukkan beberapa karakteristik dari bahan organik seperti karakter fisik, fisikokimia, biologis, sumber bahan organik dan kandungan bahan organik.

Tabel 6. 3. Karakteristik bahan organik tanah.

Karakter fisik	Karakter biologi	Kandungan bahan organik	Karakter fisikokimia	Sumber bahan organik tanah
- Memperbaiki tingkat dan struktur tanah dengan menstabilkan agregat tanah yang dipengaruhi oleh suhu, aerasi, tekstur tanah, kesuburan tanah dan curah hujan. - Meningkatkan aerasi dan infiltrasi air. - Mengurangi erosi tanah. - Mengurangi pengerasan pada permukaan tanah dan pemadatan tanah. - Meningkatkan kapasitas menahan air dalam tanah.	Merupakan sumber energi bagi organisme tanah.	- Meningkat atau menurun tergantung pola tanam. - Frekuensi pengolahan tanah. - Manajemen residu tanaman. - Praktek kesuburan tanah.	- Meningkatkan kapasitas tukar kation (KTK). - Sumber suplai elemen penting seperti N, P, S dan B, - Sebagai buffer tanah akibat adanya perubahan pH pada tanah.	- Sisa tanaman. - Sisa organisme tanah.

Sumber : Jones (2012)

6.3 Tipe Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah merupakan bahan organik yang diberikan dalam tanah yang berasal dari dekomposisi sisa tanaman mati seperti sisa daun, akar, batang, tunas sebagai serasah di permukaan tanah. Selain berasal dari dekomposisi sisa tanaman, bahan organik tanah berasal dari hewan tergantung pada ekosistem dan pengelolaannya serta produk hasil sintesis dari mikroorganisme dan biota tanah lainnya. Fiksasi karbon dioksida dari atmosfer melalui reaksi fotosintesis oleh tanaman merupakan sumber utama dari bahan organik, selain dari bakteri autotrof.

Baldock and Skjemstad (1999) dan Six dan Jastrow (2002) menyatakan bahwa terdapat tiga tipe (fraksi) dari bahan organik tanah, yaitu:

1. Fraksi labil. Tipe fraksi labil ini mengurai atau dekomposisi akar halus dari tanaman, sisa tanaman, hifa jamur dan biomassa lainnya yang bersifat tidak stabil serta waktunya singkat ($< 1 - 2$ tahun).
2. Fraksi humus. Tipe ini memiliki komponen yang aktif mencakup bahan organik yang distabilkan sebagian dan metabolit mikroba (berubah dalam waktu 5 - 25 tahun).
3. Fraksi resisten (sangat stabil). Tipe ini memiliki bahan organik yang sangat stabil baik secara fisik maupun kimia dan fraksi humus termasuk didalamnya (waktu berubah terjadinya pergantian 250-2500 tahun).

Baldock and Skjemstad (1999) dan Six and Jastrow (2002) menyatakan bahwa terdapat beberapa fraksi bahan organik tanah dari bahan organik bukan organisme hidup dan bahan organik dari organisme hidup dan penggunaannya untuk karbon tanah (Tabel 6.4).

Tabel 6. 4. Tipe fraksi bahan organik tanah dan pemanfaatannya untuk karbon tanah.

Bahan organik tanah	Fraksi bahan organik tanah	Komposisi	Jumlah di dalam tanah (%)	Fraksi model
Bahan organik tanah bukan organisme hidup	Bahan organik yang mudah larut (hancur)		< 0.1	Karbon tanah yang labil Bahan tanaman yang dapat terurai (memiliki C/N rasio dan lignin yang rendah)
	Partikel bahan organik	Sampah, serasah	5 - 20	
		Bahan makro organik		
		Fraksi yang ringan		
	Humus	Non-humat biomolekul	65- 80	Penyerapan karbon tanah lambat
		Zat humik		
	Bahan organik yang tidak reaktif	Arang	1 - 5	Karbon tanah yang pasif

Bahan organik tanah	Fraksi bahan organik tanah	Komposisi	Jumlah di dalam tanah (%)	Fraksi model
	(inert)			Bahan organik yang tidak reaktif (inert)
Bahan organik tanah dari organisme hidup	Biomassa tanaman	Akar tanaman, sampah (serasah)	1	Karbon tanah yang labil
	Biomassa mikroba	Bakteri	2 – 5	Bahan material yang dapat terurai (memiliki C/N rasio dan lignin yang rendah)
		Jamur		
	Biomassa organisme (hewan)		<1	Bahan material yang resisten (rasio C/N tinggi dan tinggi lignin)

Sumber : Baldock and Skjemstad (1999) dan Six and Jastrow (2002)

6.4 Pembentukan Bahan Organik Tanah

Bahan organik sebagian besar berasal dari tanaman ini terdiri dari protein nabati tinggi nitrogen, lignin dan lipid yang sulit terdekomposisi, lilin kutikula serta selulosa dan polisakarida (karbohidrat kompleks). Tingkat stabilitas dari kandungan dalam bahan organik ini berbeda. Adapun urutan stabilitas dari kandungan dalam bahan organik berturut-turut dari paling rendah sampai paling stabil, yaitu : gula sederhana < asam amino < protein < selulosa < hemiselulosa < lemak, pati dan lilin < lignin dan tanin (Quideau 2002).

Proses dekomposisi membentuk partikel-partikel kecil dari bahan organik yang terurai sebagian, dengan lignin sebagai bahan yang paling resisten. Bahan-bahan ini, bersama dengan senyawa organik yang terurai sebagian lainnya, membentuk humus dan bahan organik kompleks. Humus terbentuk dari bahan yang terurai secara tidak sempurna dari serasah organik dan produk aktivitas mikroba. Komponen humus berasal dari penguraian lignin dan sintesis oleh mikroorganisme. Beberapa senyawa humus merupakan molekul kompleks yang disintesis oleh tanaman dan mikroorganisme. Humus sangat terkait dengan partikel tanah dan dapat mengembangkan sifat koloid, seperti penyerapan air dan kemampuan pertukaran kation. Humus terdiri dari berbagai bahan organik, termasuk polimer dengan kandungan karboksilat, aromatik, dan fenol, lemak, lilin, resin, asam amino, dan karbohidrat. Bahan-bahan ini bervariasi dalam sifat fisik dan kimianya, dan dapat diuraikan oleh mikroorganisme.

6.4.1 Input Bahan Organik Tanah

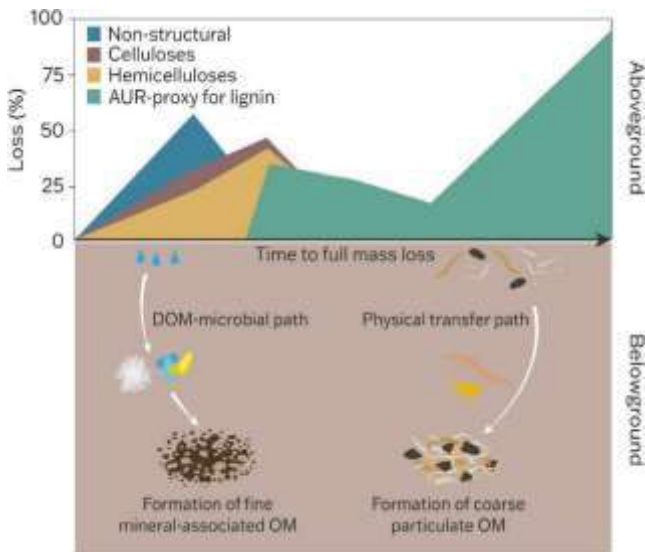
Sebagian besar bahan organik tanah bersumber dari tanaman dalam jumlah bervariasi yang diperoleh melalui pergantian jaringan akar, pelepasan eksudat dari akar tanaman dan pengendapan sisa tanaman di atas permukaan tanah. Input bahan organik ke dalam tanah dapat menyumbang unsur karbon (C) dalam tanah tergantung pada tipe ekosistem, kontrol manusia dengan melakukan seleksi dan pemanenan biomassa tanaman. Adanya faktor kebakaran sebagai salah satu faktor yang dapat mengurangi jumlah karbon dan nitrogen dalam tanah serta mengubah struktur fisikokimia yang menurunkan tingkat dekomposisi bahan organik tanah (Bird *et al.*, 2015; Pellegrini *et al.*, 2020). Adanya perbedaan sumber input bahan organik tanah menyebabkan adanya perbedaan struktur kimia pada bahan organik dan berpengaruh terhadap pembentukan dan pergantian bahan organik tanah secara berkelanjutan (Koegel-Knabner, 2002; Lehmann *et al.*, 2020; Waring *et al.*, 2020).

Input bahan organik yang diberikan ke dalam tanah akan mengalami transformasi fisik, kimia, dan ada atau tanpa peran mikroorganisme tanah secara bersama-sama berperan dalam pembentukan bahan organik tanah. Pada tahap transformasi, input C bahan organik ke dalam tanah menjadi CO₂ melalui proses mineralisasi. Transformasi tanah ini mengubah sebagian besar input C menjadi CO₂ dengan efisiensi pembentukan bahan organik tanah sebesar 3% - 33%, yang mengindikasikan penurunan yang signifikan dalam kehilangan C selama penguraian (Lavalley *et al.*, 2018; Castellano *et al.*, 2015).

6.4.2 Proses Pembentukan Bahan Organik Tanah

Proses pembentukan bahan organik tanah secara tradisional dimulai ketika biomassa, senyawa polimer dalam residu struktural memasuki tanah. Semakin lambat penguraian residu dan semakin banyak residu yang tersisa, semakin banyak bahan organik tanah yang terbentuk. Kandungan lignin yang lebih tinggi dan ketersediaan unsur hara yang lebih rendah memperlambat laju kehilangan massa residu dan meningkatkan jumlah massa residu yang tersisa yang belum terurai. Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak input bahan organik, semakin tinggi kehilangan massa serasah dan semakin banyak bahan organik tanah yang terbentuk. Residu dari dekomposisi input tanaman sebagai input utama untuk bahan organik tanah merupakan konsep proses pembentukan bahan organik tanah yang diinisiasi dari fraksi partikel bahan organik (Lehmann and Kleber, 2015) dan mengabaikan sebagian besar input bahan organik yang masuk ke dalam tanah dalam bentuk yang larut dalam air melalui eksudasi dari tanaman yang masih hidup dan pencucian dari residu dekomposisi di permukaan tanah dan rizosfer (Kaiser and Guggenberger, 2000; Canarini *et al.*, 2019; Prescott *et al.*, 2020). Eksudasi ini berkisar 20-40% karbon yang diasimilasi oleh tanaman dan 2-16% dari residu C tanaman di atas permukaan tanah hilang sebagai bahan organik terlarut pada tahun pertama penguraian C (Soong *et al.*, 2015; Canarini *et al.*, 2019; Prescott *et al.*, 2020). Hujan dapat mengendapkan sejumlah kecil bahan organik yang terurai pada tanah, diperkirakan 1,5-3,0 g bahan organik cm²/tahun. Input dari bahan organik terlarut dicirikan dengan tersedianya bahan substrat bagi mikroba dan dapat mempercepat hilangnya bahan organik tanah alami dengan meningkatkan aktivitas mikroba atau membebaskan bahan organik yang terikat pada mineral (Keiluweit *et al.*, 2015; Jilling *et al.*, 2018).

Pada bagian atas tanah, saat penguraian berlangsung, yang larut dalam air pertama-tama hilang dalam proporsi yang lebih tinggi, kemudian selulosa bebas dan hemiselulosa di depolimerisasi, sedangkan pada tahap penguraian selanjutnya, fraksi asam yang tidak dapat dihidrolisis (*the acid unhydrolyzable* (AUR)), sebagai proksi untuk selulosa lignin menghilang. Urutan waktu ini sebanding dengan waktu yang diperlukan suatu residu untuk mencapai kehilangan massa penuh (yaitu, bulan hingga tahun). Pada bagian bawah tanah, hilangnya air yang terlarut, selulosa bebas dan hemiselulosa akan menghasilkan bahan organik terlarut (*dissolved organic matter* (DOM)) dan menghasilkan pembentukan mineral bahan organik (*mineral-associated organic matter* (MAOM)), melalui adsorpsi langsung atau setelah asimilasi mikroba, dan asosiasi necromass dengan mineral. Residu berserat yang tersisa masuk ke dalam tanah melalui transfer fisik, dan menghasilkan pembentukan bahan organik partikulat (Gambar 6.2).



Gambar 6. 2. Konsep model dua jalur pembentukan bahan organik tanah dari dekomposisi tanaman di atas tanah (Cotrufo *et al.*, 2015).

6.4.3 Fungsi dan Hubungan Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah mempunyai fungsi di dalam tanah, yaitu fungsi fisik, kimia dan fungsi biologi (Baldock and Skjemstad (1999). Bahan organik tanah pada tanah secara fisik berfungsi untuk:

1. Meningkatkan aerasi.
2. Mempengaruhi sifat hidrologi tanah termasuk kapasitas menahan air, konduktivitas hidrolik lapisan bawah tanah dan infiltrasi tanah.
3. Mengubah sifat termal dalam tanah.
4. Meningkatkan stabilitas struktur tanah pada skala ukuran mulai dari skala mikroagregat $< 250 \mu\text{m}$ hingga agregat besar, yaitu $> 250 \mu\text{m}$.
5. Memperbaiki kondisi tanah yang mudah longsor dan curam.

Fungsi biologis bahan organik tanah pada tanah diantaranya, yaitu:

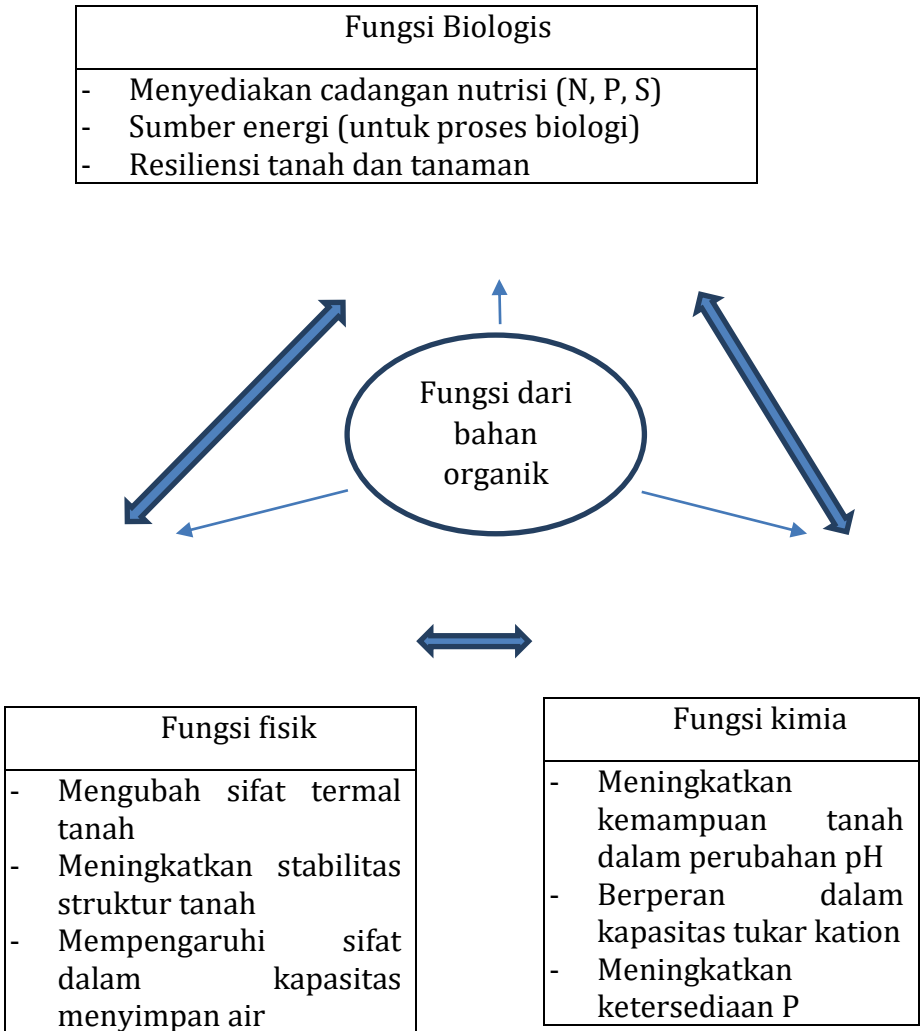
1. Berperan dalam pengendalian penyakit secara biologi yang disebabkan oleh organisme yang dapat menyebabkan penyakit di dalam tanah.
2. Sebagai tempat menyimpan unsur hara makro dan mikro yang tersedia melalui proses dekomposisi yang berperan penting dalam daur ulang siklus unsur hara.
3. Sebagai sumber energi dan makanan bagi mikroorganisme yang penting untuk proses biologis di dalam tanah.

Adapun fungsi kimia bahan organik tanah dalam tanah adalah untuk:

1. Meningkatkan kemampuan tanah terhadap perubahan pH.
2. Berperan dalam meningkatkan kapasitas tukar kation.
3. Adanya kation dan anion yang kompleks dalam tanah berperan untuk:
 - Meningkatkan daya ikat bahan organik pada mineral tanah.

- Mengurangi ketersediaan racun di dalam tanah seperti Al^{3+}
- Dapat berinteraksi dengan pestisida dan herbisida.
- Menjaga ketersediaan nutrisi seperti fosfor dalam bentuk yang tersedia dan mencegahnya menjadi tidak tersedia.

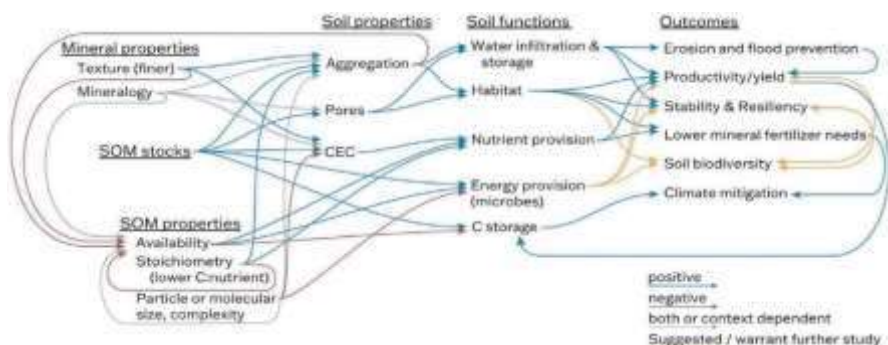
Fungsi bahan organik ini secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu fungsi biologis, fisik dan kimia. Ketiga fungsi bahan organik ini dapat terjadi interaksi antara satu dengan lainnya (Gambar 6.3).



Gambar 6. 3. Fungsi bahan organik tanah dan interaksi antara 3 fungsi bahan organik tanah (fungsi biologis, fungsi fisik dan fungsi kimia) (Sumber: Baldock and Skjemstad,1999).

Menentukan berapa jumlah bahan organik tanah yang optimal merupakan hal yang sulit karena fungsi tanah, tingkat fraksi bahan organik tanah yang optimal dan mineralogi tanah. Bahan organik tanah merupakan bahan yang sangat heterogen, tergantung pada unsur-unsur yang ditemukan di dalam tanah yang memiliki sifat kimia dan fisik yang berbeda. Jumlah bahan organik yang dibutuhkan tergantung pada fungsi dan jenis tanah. Tanah berpasir membutuhkan lebih banyak bahan organik tanah untuk biologis (energi untuk aktivitas biologis dan penyediaan nutrisi, termal dan KTK). Kinerja fungsi tanah tertentu mungkin tidak dapat diukur dengan baik dengan total bahan organik tanah karena bahan organik tanah yang berbeda memiliki karakteristik fisik dan kimia yang berbeda. Fraksi humat dan karbon organik partikulat berkontribusi pada struktur tanah, dengan fraksi humat menjadi sumber utama kapasitas tukar kation di dalam tanah. Fungsi utama bahan organik tanah adalah sumber energi untuk aktivitas biologis, sementara humus diperlukan untuk penyediaan nutrisi tanah. Sifat termal tanah merupakan fungsi dari warna, dengan kandungan karbon tidak aktif memainkan peran yang penting.

Hubungan antara bahan organik tanah dan fungsi tanah sangat kompleks. Hubungan ini dapat meliputi beberapa aspek, yaitu: 1) sifat-sifat mineral tanah dan fase bahan organik serta stok bahan organik tanah, 2) sifat-sifat tanah, 3) fungsi-fungsi tanah dan 4) hasil luarannya. Hubungan sebab-akibat dicirikan sebagai positif (warna biru), negatif (warna merah), keduanya atau bergantung pada konteks (warna abu-abu), atau disarankan dan membutuhkan studi lebih lanjut (warna kuning) (Gambar 6.4).



Gambar 6. 4. Hubungan antara sifat mineral, cadangan bahan organik tanah, sifat bahan organik tanah, sifat tanah, fungsi tanah, dan hasil-hasil utama (Sumber: Cotrufo and Lavelle, 2022).

6.5 Peranan Bahan Organik Tanah Terhadap Sifat Tanah

Tanah adalah campuran kompleks dari mineral dan bahan organik, dengan sifat-sifat yang dipengaruhi oleh waktu, iklim, topografi, dan biota. Sifat bahan organik tanah berpengaruh pada sifat-sifat utama tanah seperti kapasitas tukar kation, agregasi, dan porositas. Sifat-sifat tanah lainnya, seperti pH berperan penting dalam dinamika bahan organik tanah.

Kapasitas Tukar Kation tanah memiliki ion bermuatan negatif yang dapat menahan dan menukar ion bermuatan positif, seperti Mg^{2+} , Ca^{2+} , dan K^{+} . Banyak senyawa organik, termasuk bahan organik tanah memiliki muatan ion yang bergantung pada pH dan berkontribusi pada KTK tanah. Tekstur dan bahan organik tanah merupakan prediktor utama dalam KTK tanah. Peranan bahan organik tanah terhadap KTK bervariasi tergantung pada faktor-faktor seperti jumlah bahan organik tanah, tekstur tanah, mineralogi, pH, dan faktor lainnya. Fraksi mineral yang berasosiasi dengan bahan organik ($<53\mu m$) umumnya memiliki KTK yang lebih tinggi dan berkontribusi

lebih banyak terhadap total KTK daripada fraksi partikel bahan organik ($>53\mu\text{m}$) Skjemstad *et al.* (2008) and Oorts *et al.* (2003). KTK bahan organik tanah cenderung meningkat melalui dekomposisi dan transformasi.

Struktur tanah dipengaruhi oleh tekstur tanah, akar tanaman, biota tanah, dan bahan organik tanah. Ketersediaan bahan organik tanah berkorelasi dengan stabilitas agregat tanah (Le Bissonnais *et al.*, 2018). Akar dan hifa sangat penting untuk pembentukan agregat makro, menciptakan struktur seperti jaring dan menghasilkan lendir. Ketika akar dan hifa ini mati, selanjutnya menjadi bahan organik tanah yang membantu dalam pembentukan agregat tanah. Senyawa organik seperti bahan organik yang dapat terlarut dan mikroba bertindak sebagai "perekat" yang mengikat partikel tanah menjadi satu atau mengendap bersama dengan oksida logam untuk membentuk mineral yang berasosiasi dengan bahan organik. Porositas tanah sebagian besar merupakan hasil agregasi, dengan pori-pori yang terbentuk di antara agregat mikro dan makro (Zaffar and Sheng-Gao, 2015). Porositas juga dapat dibentuk oleh akar, hifa jamur, biota tanah, dan pori-pori yang lebih kecil di antara partikel tanah primer dan ruang antar lapisan tanah liat (De Gryze *et al.*, 2006; Young and Crawford, 2004).

6.6 Peranan Bahan Organik Tanah Terhadap Fungsi Tanah

Bahan organik tanah dapat mengikat partikel mineral, meningkatkan agregasi dan porositas tanah, meningkatkan dinamika air dan membantu perkembangan biota tanah serta akar tanaman. Laju infiltrasi yang tinggi sebagai akibat meningkatnya kandungan bahan organik tanah diikuti oleh peningkatan kapasitas penyimpanan air, meningkatnya kualitas habitat mikroba, fauna tanah dan akar tanaman. Pori-pori dalam

tanah dapat berfungsi sebagai tempat berlindung bagi predator (Kravchenko and Guber, 2017; Tecon and Or, 2017) dimana struktur tanah baik dan berpori memungkinkan akar untuk menyebar dan menggali lebih dalam ke dalam tanah, yang dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara dan air. Bahan organik tanah mempengaruhi karakteristik tanah yang berdampak tidak langsung pada dinamika air dan habitat biota tanah (King *et al.*, 2020; Yang *et al.*, 2014).

Bahan organik tanah menyediakan unsur hara esensial seperti sulfur, fosfor dan nitrogen. Bahan organik tanah terdiri dari 20-80% dari total fosfor dan 90-95% dari total nitrogen yang ditemukan di tanah pertanian. Bahan organik tanah dapat meningkatkan KTK, menyimpan dan menyediakan unsur hara tambahan dimana sekitar 58 - 68% nitrogen tanaman berasal dari sumber selain pupuk yang sumber utamanya dari depolimerisasi dan mineralisasi bahan organik tanah (Quan *et al.*, 2020; Yan *et al.*, 2020). Pada tanah yang memiliki kandungan bahan organik tanah yang rendah dan telah menerima input N dari luar, bahan organik tanah menyediakan sebagian besar total nitrogen mineral di dalam tanah (Masunga *et al.*, 2016).

Bahan organik tanah menjadi elemen dasar sumber makanan dalam tanah dan substrat yang kaya akan karbon. Oleh karena keterbatasan C, pertumbuhan, metabolisme dan dinamika populasi mikroorganisme tanah sangat dipengaruhi oleh ketersediaan dan karakteristik bahan organik tanah. Selain itu, input dari tanaman mempengaruhi perkembangan mikroba dan mendorong pembentukan bahan organik tanah. Salah satu faktor penting yang mempengaruhi biomassa dan aktivitas mikroba adalah ukuran ketersediaan bahan organik tanah. Ukuran dan karakteristik ketersediaan bahan organik tanah mempengaruhi penyediaan C dan fungsi dalam penyediaan sumber energi dari bahan organik tanah. Biomassa lebih banyak

dapat diproduksi ketika substrat dengan rasio C:N yang lebih rendah, lebih cepat terurai dan prosesnya lebih efisien.

Perubahan iklim mempengaruhi fungsi tanah, terutama penyimpanan karbon. Penyimpanan karbon adalah jumlah cadangan karbon organik dan anorganik tanah, dengan jumlah tertinggi di daerah kering dan menurun seiring dengan meningkatnya keasaman tanah (Mi *et al.*, 2008; An *et al.*, 2019). Secara umum, tanah menyimpan 2344 Pg karbon organik di lapisan atas 3 m. Daerah dengan cadangan karbon tanah tertinggi berada di daerah beriklim dingin dan/atau basah, seperti hutan boreal, lahan gambut dan tundra. Lahan kering menyimpan karbon organik tanah paling sedikit 30% dari total karbon organik tanah (Batjes, 1996), di mana sebagian besar ditemukan di partikel bahan organik tanah dan rentan terhadap kehilangan akibat perubahan seperti pemanasan, pengeringan, atau perubahan penggunaan lahan. Tanah dengan cadangan C terendah memiliki rasio C lebih tinggi pada tanah mineral yang berasosiasi dengan bahan organik tanah yang secara umum tidak terlalu rentan tetapi masih dapat hilang dengan cepat (Lugato *et al.*, 2021).

6.7 Hubungan Bahan Organik Tanah dengan Sifat Tanah

Bahan organik tanah dapat meningkatkan sifat fisik tanah seperti tekstur, struktur, porositas tanah dan kapasitas menyimpan air. Sifat-sifat ini mempengaruhi hubungan udara-air dalam tanah yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman. Penambahan bahan organik tanah meningkatkan sifat fisik tanah serta meningkatkan kualitas tanah dan akibatnya dapat meningkatkan produktivitas tanaman.

Stabilitas struktur tanah merupakan kemampuan partikel tanah untuk membentuk agregat tanah yang tetap utuh meskipun adanya faktor curah hujan dan pengolahan tanah. Stabilitas ini sangat penting untuk produktivitas tanaman karena mempengaruhi ketahanan mekanis dan kapasitas menyimpan air. Stabilitas agregat tanah dipengaruhi oleh bahan organik yang mempengaruhi stabilitas ukuran agregat dan mencegah kerusakan tanah. Bahan pengikat tanah yang utama berperan dalam pembentukan agregat tanah meliputi lempung silikat, oksida besi, aluminium, bahan organik serta produk dekomposisi biologisnya.

Bobot isi tanah (*bulk density*) berhubungan erat dengan bahan organik dimana bahan organik yang lebih tinggi menghasilkan bobot isi tanah yang lebih rendah. Faktor-faktor lain seperti tekstur tanah, jenis mineral lempung, kemasaman tanah, kation-kation yang dapat ditukar dan keberadaan oksida Fe dan Al juga mempengaruhi bobot isi tanah. Faktor penggunaan lahan, praktik budidaya dan curah hujan juga dapat mempengaruhi bobot isi tanah. Kandungan bahan organik merupakan faktor paling penting dalam mempengaruhi bobot isi tanah dan menunjukkan hubungan yang negatif dengan bobot isi tanah.

Penambahan bahan organik ke dalam tanah secara signifikan berdampak pada karakteristik penyimpanan air tanah yang berhubungan dengan produksi tanaman. Pengurangan kapasitas air yang tersedia ini merupakan faktor utama penyebab hilangnya produktivitas tanah akibat erosi. Bahan organik terutama terkonsentrasi di lapisan permukaan tanah. Tanah yang erosi memiliki kapasitas menyimpan air yang lebih rendah daripada tanah yang tidak tererosi. Penambahan bahan organik meningkatkan karakteristik menyimpan air tanah dan konduktivitas hidrolik karena faktor-faktor seperti penurunan bobot isi tanah, peningkatan total porositas tanah, distribusi

ukuran agregat tanah dan meningkatnya daya serap air. Tanah dengan kandungan bahan organik yang lebih tinggi memiliki konduktivitas hidrolis yang lebih besar sedangkan tanah dengan kandungan bahan organik yang rendah memiliki nilai infiltrasi total yang lebih rendah.

Bahan organik secara signifikan mempengaruhi sifat kimia tanah, mengurangi toksisitas Al dan mengurangi alelopati pada tanaman. Bahan organik meningkatkan ketersediaan unsur hara makro dan mikro bagi tanaman dan mengendalikan kemampuan mempertahankan pH. Humus merupakan sumber utama nitrogen yang tersedia, mengandung hingga 65% dari total P tanah dan menyediakan nutrisi penting untuk pertumbuhan tanaman. Kandungan bahan organik merupakan faktor penting dalam menentukan kandungan nitrogen total di dalam tanah. Bahan organik juga berperan penting dalam siklus mikronutrien tanah, dengan adanya unsur kimia pengkelat yang membentuk suatu ikatan dengan logam untuk meningkatkan ketersediaan unsur mikronutrien seperti Cu, Fe, Zn dan Mn.

Bahan organik berperan dalam KTK tanah, dimana semakin tinggi kadar bahan organik maka KTK tanah akan semakin tinggi. Bahan organik memiliki muatan negatif yang menarik dan menahan kation serta memisahkan asam-asam organik tergantung pada pH tanah. Meningkatkan kandungan bahan organik merupakan proses yang cukup lama namun dapat meningkatkan KTK tanah. Kandungan bahan organik secara signifikan berkontribusi terhadap KTK tanah, tetapi pengaruhnya terhadap KTK tanah bergantung pada pH tanah.

Alelopati adalah fenomena biologis di mana metabolit sekunder atau biokimia yang dihasilkan oleh tanaman, alga, bakteri dan jamur mempengaruhi sistem pertanian dan biologi. Metabolit sekunder ini dilepaskan ke lingkungan melalui pencucian, penguapan atau eksudasi dari tunas dan akar.

Fitotoksisitas bahan kimia ini dapat dipengaruhi oleh faktor abiotik dan biotik. Interaksi alelopati bersifat spesifik dan dapat memberikan dampak negatif dan positif. Untuk menetralkan bahan kimia beracun yang dihasilkan oleh alelopati, mempertahankan tingkat bahan organik yang cukup melalui pupuk kandang, pemupukan hijau, rotasi tanaman, dan pengolahan tanah berkelanjutan sangat dianjurkan untuk dilakukan.

Bahan organik tanah sangat penting untuk menyediakan makanan bagi organisme tanah heterotrofik. Jenis dan keragaman residu organik di dalam tanah dapat mempengaruhi keragaman organisme ini. Kandungan bahan organik tanah secara signifikan mempengaruhi sifat biologis tanah, termasuk mineralisasi hara, siklus hara dan dekomposisi. Biomassa mikroba berperan penting dalam tanah, seperti mineralisasi hara, siklus hara dan dekomposisi. Biomassa mikroba C dan N, yang masing-masing terdiri dari 1-3% dan 5% dari total C dan N tanah, merupakan fraksi bahan organik tanah yang paling aktif. Kandungan humus mempengaruhi jumlah bakteri, aktinomisetes dan jamur di dalam tanah. Selain itu, kandungan bahan organik mempengaruhi mikroorganisme patogen, lebih menyukai organisme saprofit daripada parasit. Senyawa aktif biologis dalam tanah dapat meningkatkan organisme plankton tertentu.

6.8 Peranan Bahan Organik Tanah Terhadap Kesuburan Tanah dan Produksi Tanaman

Bahan organik tanah sangat penting untuk menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah, mempengaruhi sifat fisik, kimia dan biologis tanah. Bahan organik tanah memperbaiki struktur tanah, kapasitas menyimpan air dan ketahanan terhadap erosi dengan mengikat partikel-partikel mineral menjadi bentuk

agregat. Bahan organik tanah juga memiliki kapasitas menahan air yang tinggi sehingga tanah dapat menahan dan menyuplai air ke tanaman. Secara kimiawi, bahan organik tanah ini berperan sebagai cadangan unsur hara esensial dan menjaga perubahan pH tanah. Bahan organik tanah melepaskan unsur hara seperti nitrogen, fosfor, dan sulfur yang dapat diserap oleh tanaman. Bahan organik tanah dapat membentuk senyawa kompleks dengan ion-ion logam, meningkatkan ketersediaan unsur hara mikro seperti besi, seng, dan mangan. Secara biologis, bahan organik tanah berfungsi sebagai sumber energi dan habitat bagi organisme tanah yang beragam, mendukung pertumbuhan dan aktivitas organisme. Bahan organik tanah dapat meningkatkan keanekaragaman fauna tanah, berkontribusi pada siklus hara dan penguraian bahan organik.

Adanya sistem pertanian yang intensif, seperti penanaman secara terus menerus, pengolahan tanah yang berlebihan dan input bahan organik yang tidak memadai dapat menyebabkan degradasi kesuburan tanah, penurunan kualitas nutrisi tanah, peningkatan kerentanan terhadap erosi dan penurunan kapasitas menyimpan air. Memperbaiki dan mempertahankan kandungan bahan organik tanah merupakan strategi utama untuk meningkatkan kualitas tanah dan memastikan keberlanjutan sistem pertanian. Berbagai cara dapat dilakukan untuk meningkatkan kuantitas dan kualitas input bahan organik ke dalam tanah serta meningkatkan perlindungan tanah dan aktivitas mikroba. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi tantangan-tantangan ini dan mengembangkan strategi khusus untuk pengelolaan bahan organik tanah yang menyeimbangkan produktivitas, keberlanjutan dan resiliensi.

Bahan organik tanah berpengaruh terhadap produksi tanaman dengan memperbaiki kondisi fisik, kimia, dan biologi tanah, menyediakan nutrisi cadangan serta meningkatkan pertumbuhan dan kesehatan tanaman. Bahan organik tanah

berfungsi sebagai penyedia unsur hara esensial, seperti nitrogen, fosfor dan sulfur yang dilepaskan pada saat penguraian. Bahan organik tanah juga meningkatkan ketersediaan mikronutrien seperti zat besi, seng dan mangan, yang sangat penting untuk berbagai proses fisiologis pada tanaman. Fungsi suplai hara bahan organik tanah sangat penting dalam sistem pertanian rendah input dan organik.

Bahan organik tanah juga memperbaiki struktur tanah, mempermudah penetrasi dan pertumbuhan akar, menjaga kelembaban tanah, menyediakan ketersediaan air yang cukup bagi tanaman dan mengurangi dampak kekeringan. Bahan organik tanah meningkatkan siklus hara dan menekan penyakit serta bermanfaat bagi tanaman dengan membantu meningkatkan pertumbuhan berbagai mikroba tanah yang aktif.

Bahan organik tanah berperan dalam meningkatkan ketahanan sistem pertanian dengan meningkatkan kapasitas tanah untuk menyerap dan melepaskan air, membantu tanaman dari cekaman air selama musim kemarau, mengurangi resiko erosi tanah dan menjaga pH tanah dalam rentang ideal untuk pertumbuhan tanaman. Namun, banyak sistem pertanian konvensional yang telah menyebabkan penurunan kandungan bahan organik tanah sehingga berdampak negatif pada produktivitas dan kualitas tanaman. Mengintegrasikan manajemen bahan organik tanah ke dalam sistem pertanian merupakan strategi utama untuk meningkatkan produksi tanaman dan memastikan keberlanjutan sistem pertanian.

Beberapa cara dapat dilakukan untuk mempertahankan atau meningkatkan kandungan bahan organik tanah, seperti aplikasi bahan organik, tanaman penutup tanah, pengolahan tanah berkelanjutan dan rotasi tanaman. Akan tetapi, efektivitas metode ini dapat bervariasi tergantung pada kondisi tanah dan iklim setempat, manajemen pertanian dan faktor ekonomi.

Untuk menjaga kesehatan tanah, meningkatkan hasil panen, dan memperlambat pemanasan global, bahan organik tanah merupakan komponen penting dalam pertanian berkelanjutan. Meskipun demikian, pengelolaan bahan organik tanah dalam sistem pertanian menimbulkan beberapa permasalahan. Ada beberapa kemungkinan dan masalah yang berkaitan dengan lambatnya pembentukan bahan organik tanah dan pengelolaannya harus disesuaikan dengan tujuan pertanian lainnya, implikasi perubahan iklim, kesenjangan informasi dan ketidakseimbangan dari aspek dinamika bahan organik tanah dan aspek ekonomi. Teknologi inovatif dan teknik pengelolaan, seperti biochar, inokulan mikroba dan sisa-sisa pertanian yang mudah terurai dapat dilakukan untuk mengatasi hal ini. Dibutuhkan pemikiran yang mendalam dan pendekatan sistem untuk menyeimbangkan berbagai tujuan, seperti memaksimalkan hasil pertanian, melestarikan sumber daya air dan menurunkan emisi gas rumah kaca. Berbagai hambatan dapat diatasi dan penerapan teknologi pengelolaan bahan organik yang berkelanjutan dapat dilakukan dengan menerapkan pendekatan inovatif seperti penyuluhan, bantuan teknis, dan pendampingan.

6.9 Manajemen Bahan Organik Tanah

Bahan organik tanah dapat ditingkatkan melalui berbagai cara pengelolaan seperti rotasi tanaman, mengurangi pengolahan tanah, tanaman penutup tanah dan penambahan bahan organik. Cara ini bertujuan untuk meningkatkan input C, mengurangi output C, mengendalikan hama dan penyakit dan mendorong organisme tanah yang bermanfaat. Semua metode ini bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat tanah seperti ketersediaan air dan waktu pemberian unsur hara.

Pengolahan tanah menurunkan stabilitas agregat tanah dengan meningkatkan mineralisasi bahan organik dan membuat agregat tanah mudah terdampak oleh pengaruh air hujan. Pengolahan tanah juga meningkatkan kehilangan bahan organik tanah melalui pencampuran residu tanaman, kerusakan fisik dan gangguan pada agregat makro tanah. Pengolahan tanah secara alami, termasuk tanpa olah tanah dan mengurangi pencampuran tanah dapat menyebabkan terjadinya akumulasi bahan organik tanah.

Sistem tanam monokultur dapat menurunkan kualitas tanah karena rendahnya input bahan organik dan masalah pengolahan tanah. Namun, rotasi tanaman memiliki efek positif pada sifat tanah karena peningkatan input karbon dan nitrogen. Rotasi tanaman seperti jagung-gandum-jagung memiliki tingkat C dan N tanah tertinggi, sementara jagung dengan sistem tanam monokultur memiliki tingkat C dan N paling rendah. Selain itu aplikasi pupuk hijau dan bahan organik dalam rotasi tanaman dapat meningkatkan kualitas tanah.

Pengelolaan bahan organik tanah dengan menggunakan berbagai bahan organik, seperti pupuk hijau, pupuk kandang, kompos dan limbah pengolahan makanan dilakukan untuk meningkatkan produksi tanaman dan kualitas tanah. Penambahan pupuk kandang yang merupakan senyawa yang sifatnya rekalsitran dapat meningkatkan bahan organik karena sifatnya yang mudah terurai. Sampah organik yang dikomposkan adalah cara yang efektif untuk meningkatkan kandungan bahan organik karena sampah organik tersebut dapat menahan lebih banyak fraksi C yang mudah larut dibandingkan dengan bahan yang tidak dikomposkan. Nitrogen tanah merupakan faktor penting lainnya dalam produksi biomassa tanaman karena dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah jika ditambahkan ke dalam tanah. Kandungan P yang cukup juga penting untuk meningkatkan

kandungan bahan organik dan hasil panen. Kekurangan fosfor dapat membatasi pertumbuhan tanaman dan menyebabkan gagal panen, sehingga memaksa petani untuk membuka lahan lebih luas.

Mengurangi terbuangnya sisa tanaman, kehilangan erosi dan kehilangan CO₂ melalui peningkatan respirasi mikroba dapat membantu menurunkan kehilangan bahan organik tanah. Oleh karena adanya kehilangan erosi yang lebih rendah, tanah dengan lereng yang tidak terlalu curam dan lokasi lanskap yang lebih rendah dapat menyebabkan konsentrasi bahan organik tanah yang lebih tinggi. Laju respirasi mikroba mengendalikan kehilangan bahan organik tanah dimana adanya faktor suhu, tingkat kekeringan dan kelembaban mempengaruhi laju penguraian bahan organik tanah. Tanah yang lembab dapat mempercepat proses ini dengan meningkatkan respirasi dan penguraian bahan organik tanah. Mengurangi erosi permukaan, meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah, menerapkan pengolahan tanah berkelanjutan dan menggunakan rotasi tanaman semuanya diperlukan untuk mencegah kehilangan bahan organik tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- An, H., Wu, X., Zhang, Y., & Tang, Z. 2019. *Effects of Land-use Change on Soil Inorganic Carbon: a meta-analysis*. *Geoderma* 353, 273–282.
- Baldock, J. A. & Skjemstad, J. O. 1999. *Soil organic carbon / Soil Organic Matter*. In Peverill, KI, Sparrow, LA and Reuter, DJ (eds). *Soil Analysis - an interpretation manual*. CSIRO Publishing Collingwood Australia.
- Batjes, N.H. 1996. *Total Carbon and Nitrogen in The Soils of The World*. *Eur. J. Soil Sci.* 47, 151–163.
- Bird, M.I., Wynn, J.G., Saiz, G., Wurster, C.M., & Mcbeath, A. 2015. *The Pyrogenic Carbon Cycle*. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 43.
- Canarini, A., Kaiser, C., Merchant, A., Richter, A., & Wanek, W. 2019. *Root Exudation of Primary Metabolites: Mechanisms and Their Roles in Plant Responses to Environmental Stimuli*. *Front. Plant Sci.* 10, 157.
- Castellano, M.J., Mueller, K.E., Olk, D.C., Sawyer, J.E., & Six, J. 2015. *Integrating Plant Litter Quality, Soil Organic Matter Stabilization and The Carbon Saturation Concept*. *Glob. Chang. Biol.* 21 (9), 3200–3209.
- Cotrufo, M.F., Soong, J.L., Horton, A.J., Campbell, E.E., Haddix, M.H., Wall, D.L., & W.J. Parton. 2015. *Soil Organic Matter Formation from Biochemical and Physical Pathways of Litter Mass Loss*. *Nat. Geosci.* 8 (10), 776–779.
- Cotrufo, M.F. & Lavallee, J. M. 2022. *Soil Organic Matter formation, persistence, and functioning: A Synthesis of Current Understanding to Inform its Conservation and Regeneration*. *Advances in Agronomy.* 172, 1-66.
- De Gryze, S., Jassogne, L., Six, J., Bossuyt, H., Wevers, M., & Merckx, R. 2006. *Pore Structure Changes During Decomposition of Fresh Residue: X-ray Tomography Analyses*. *Geoderma* 134, 82–96.

- Jilling, A., Keiluweit, M., Contosta, A.R., Frey, S., Schimel, J., Schneck, J., Smith, R.G., Tiemann, L., & Grandy, A.S. 2018. *Minerals in The Rhizosphere: Overlooked Mediators of Soil Nitrogen Availability to Plants and Microbes*. Biogeochemistry 139, 103–122.
- Jones, J. B. 2012. *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual. 2nd Edition*. CRC Press Taylor & Francis Group. 299 p.
- Kaiser, K., & Guggenberger, G. 2000. *The Role of DOM Sorption to Mineral Surfaces in The Preservation of Organic Matter in Soils*. Org. Geochem. 31, 711–725.
- Keiluweit, M., Bougoure, J.J., Nico, P.S., Pett-Ridge, J., Weber, P.K., & Kleber, M. 2015. *Mineral Protection of Soil Carbon Counteracted by Root Exudates*. Nat. Clim. Change 5, 588–595.
- King, A.E., Ali, G.A., Gillespie, A.W., & Wagner-Riddle, C. 2020. *Soil Organic Matter as Catalyst of Crop Resource Capture*. Front. Environ. Sci. 8, 50.
- Kogel-Knabner, I. 2002. *The Macromolecular Organic Composition of Plant and Microbial Residues as Inputs to Soil Organic Matter*. Soil Biol. Biochem. 34, 139–162.
- Kravchenko, A.N., & Guber, A.K. 2017. *Soil Pores and Their Contributions to Soil Carbon Processes*. Geoderma 287, 31–39.
- Lavallee, J.M., Conant, R.T., Paul, E.A., & Cotrufo, M.F. 2018. *Incorporation of Shoot Versus Root-Derived ¹³C and ¹⁵N into Mineral-associated Organic Matter Fractions: Results of a Soil Slurry Incubation with Dual-labelled Plant Material*. Biogeochemistry. 137, 379–393.
- Le Bissonnais, Y., Prieto, I., Roumet, C., Nespoulous, J., Metayer, J., Huon, S., Villatoro, M., & Stokes, A. 2018. *Soil Aggregate Stability in Mediterranean and Tropical Agro-ecosystems: Effect of Plant Roots and Soil Characteristics*. Plant and Soil. 424, 303–317.

- Lehmann, J., & Kleber, M. 2015. *The Contentious Nature of Soil Organic Matter*. Nature 528, 60–68.
- Lehmann, J., Hansel, C.M., Kaiser, C., Kleber, M., Maher, K., Manzoni, S., Nunan, N., Reichstein, M., Schimel, J.P., & Torn, M.S., 2020. *Persistence of Soil Organic Carbon Caused by Functional Complexity*. Nat. Geosci. 13, 529–534.
- Lugato, E., Lavallee, J.M., Haddix, M.L., Panagos, P., & Cotrufo, M.F. 2021. *Different Climate Sensitivity of Particulate and Mineral-associated Soil Organic Matter*. Nat. Geosci. 14, 295–300.
- Masunga, R.H., Uzokwe, V.N., Mlay, P.D., Odeh, I., Singh, A., Buchan, D., & De Neve, S. 2016. *Nitrogen Mineralization Dynamics of Different Valuable Organic Amendments Commonly Used in Agriculture*. Appl. Soil. Ecol. 101, 185–193
- Mi, N., Wang, S., Liu, J., Yu, G., Zhang, W., & Jobbagy, E. 2008. *Soil Inorganic Carbon Storage Pattern in China*. Glob. Chang. Biol. 14, 2380–2387
- Oorts, K., Vanlauwe, B., & Merckx, R. 2003. *Cation Exchange Capacities of Soil Organic Matter Fractions in a Ferric Lixisol with Different Organic Matter Inputs*. Agr. Ecosyst. Environ. 100, 161–171.
- Pellegrini, A.F.A., Hobbie, S.E., Reich, P.B., Jumpponen, A., Brookshire, E.N.J., Caprio, A.C., Coetsee, C., & Jackson, R.B. 2020. *Repeated Fire Shifts Carbon and Nitrogen Cycling by Changing Plant Inputs and Soil Decomposition Across Ecosystems*. Ecol. Monogr. 90, E01409.
- Prescott, C.E., Grayston, S.J., Helmisaari, H.-S., Kasťovská, E., Korner, C., Lambers, H., Meier, I.C., Millard, P., Ostonen, I. 2020. *Surplus Carbon Drives Allocation and Plant–Soil Interactions*. Trends Ecol. Evol. 35 (12), 1110–1118.

- Quan, Z., Li, S., Zhang, X., Zhu, F., Li, P., Sheng, R., Chen, X., Zhang, L.-M., He, J.-Z., & Wei, W. 2020. *Fertilizer Nitrogen Use Efficiency and Fates in Maize Cropping Systems Across China: Field ^{15}N Tracer Studies*. Soil Tillage Res. 197, 104498.
- Quidea, S. A. 2002. *Organic Matter Accumulation*. In Rattan Lal (ed). Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker, New York.
- Six, J. & Jastrow, J. D. 2002. *Organic Matter Turnover*. In Rattan Lal (ed). Encyclopedia of Soil Science. Marcel Dekker, New York.
- Skjemstad, J.O., Gillman, G.P., Massis, A., & Spouncer, L.R. 2008. *Measurement of Cation Exchange Capacity of Organic-Matter Fractions from Soils Using a Modified Compulsive Exchange Method*. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 39, 926–937.
- Soong, J.L., Parton, W.J., Calderon, F.J., Campbell, N., & Cotrufo, M.F. 2015. *A New Conceptual Model on The Fate and Controls of Fresh and Pyrolyzed Plant Litter Decomposition*. Biogeochemistry 124, 27–44.
- Tecon, R., Or, D., 2017. *Biophysical Processes Supporting the Diversity of Microbial Life in Soil*. FEMS Microbiol. Rev. 41, 599–623.
- Waring, B.G., Sulman, B.N., Reed, S., Smith, A.P., Averill, C., Creamer, C.A., Cusack, D.F., Hall, S.J., Jastrow, J.D., & Jilling, A. 2020. *From Pools to Flow: The Promise Framework for New Insights on Soil Carbon Cycling in A Changing World*. Glob. Chang. Biol. 26, 6631–6643.
- White, R. E. 2006. *Principles and Practice of Soil Science: The Soil as a Natural Resource*. 4th edition. Blackwell Publishing. 386 p.
- Yan, M., Pan, G., Lavalley, J.M., & Conant, R.T. 2020. *Rethinking Sources of Nitrogen to Cereal Crops*. Glob. Chang. Biol. 26, 191–199

- Yang, F., Zhang, G.-L., Yang, J.-L., Li, D.-C., Zhao, Y.-G., Liu, F., Yang, R.-M., & Yang, F. 2014. *Organic Matter Controls of Soil Water Retention in an Alpine Grassland and Its Significance for Hydrological Processes*. J. Hydrol. 519, 3086–3093.
- Young, I.M., & Crawford, J.W. 2004. *Interactions and Self-organization in the Soil-microbe Complex*. Science 304, 1634–1637.
- Zaffar, M., & Sheng-Gao, L. 2015. *Pore Size Distribution of Clayey Soils and Its Correlation with Soil Organic Matter*. Pedosphere 25, 240–249.

BAB 7

PERBAIKAN / REMEDIASI LAHAN AKIBAT DEGRADASI/ KERUSAKAN TANAH

Oleh Edy Syafril Hayat

7.1 Pendahuluan

Tanah merupakan salah satu sumber daya alam yang mudah mengalami kerusakan. Merawat tanah/lahan yang mengalami degradasi atau kerusakan tanah memiliki signifikansi yang penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan. Berbagai penelitian menyoroti dampak negatif degradasi tanah, seperti erosi tanah yang dipengaruhi oleh intensitas curah hujan, kemiringan lahan, penggunaan lahan, dan kelembaban tanah sebelumnya (Ziadat & Ay, 2013). Degradasi tanah merujuk pada proses penurunan kualitas tanah yang dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti erosi, perubahan penggunaan lahan, dan aktivitas manusia. Faktor-faktor ini dapat mengakibatkan berkurangnya kesuburan tanah dan produktivitas lahan. Misalnya, penggunaan lahan yang tidak tepat dapat menyebabkan erosi tanah yang berujung pada degradasi lahan (Talakua & Osok, 2018). Selain itu, aktivitas pertambangan juga dapat menjadi penyebab degradasi tanah yang serius, terutama akibat kontaminasi dan pengurangan kualitas lahan.

Dalam konteks global, deforestasi dan erosi tanah merupakan penyebab utama degradasi lahan, sementara pertumbuhan vegetasi dapat mengurangi masalah tersebut (Lu et al., 2006). Di Indonesia, tekanan populasi terhadap sumber daya lahan menyebabkan eksploitasi lahan yang berujung pada degradasi tanah (Danardono, 2024). Degradasi tanah merupakan masalah serius yang dapat memiliki dampak negatif pada produktivitas lahan dan keberlanjutan lingkungan. Degradasi tanah dapat terjadi akibat aktivitas manusia seperti pertanian intensif, deforestasi, dan penambangan yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas tanah dan produktivitas lahan (Sukwika & Firmansyah, 2020). Faktor-faktor seperti erosi tanah, kemiringan lereng, dan perubahan fungsi tanah dapat menyebabkan kerusakan tanah dan mengurangi kemampuan lahan untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Mujiyo et al., 2022). Pengelolaan lahan yang tepat seperti rotasi tanaman, pengolahan tanah, dan penggunaan mulsa tanaman dapat membantu mencegah degradasi tanah (Erfandi, 2020). Sifat fisik tanah seperti tekstur, struktur, dan kandungan bahan organik dapat menjadi indikator penting dalam menentukan tingkat degradasi tanah (Nurhartanto et al., 2021). Degradasi tanah juga dapat terjadi akibat kegiatan penambangan yang menyebabkan kontaminasi dan degradasi lahan yang parah (Junaidi et al., 2017). Dengan pemahaman yang mendalam tentang faktor-faktor yang menyebabkan degradasi tanah dan upaya-upaya pencegahannya, langkah-langkah perlindungan dan rehabilitasi lahan dapat dilakukan untuk meminimalkan kerusakan tanah dan menjaga keberlanjutan lingkungan.

Dengan demikian, menjaga dan merawat lahan yang mengalami degradasi atau kerusakan tanah sangat penting untuk menjaga produktivitas lahan, mencegah erosi tanah, memulihkan ekosistem, dan mendukung keberlanjutan lingkungan. Berbagai pendekatan, mulai dari transformasi lahan,

kombinasi penggunaan lahan yang tepat, hingga rehabilitasi lahan dengan tanaman tertentu, merupakan langkah-langkah yang dapat diambil untuk mengatasi masalah degradasi tanah.

7.2 Definisi dan Konsep Dasar Mengenai Degradasi/Kerusakan Tanah

Degradasi tanah adalah proses penurunan kualitas tanah yang disebabkan oleh faktor-faktor seperti erosi, kebakaran hutan, kerusakan habitat, dan pencemaran tanah. Konsep dasar degradasi tanah melibatkan perubahan negatif dalam sifat fisik, kimia, dan biologi tanah yang mengakibatkan penurunan produktivitas lahan Putra & Makarim (2020). Degradasi tanah/lahan adalah proses penurunan produktivitas tanah/lahan, baik yang sifatnya sementara maupun tetap. Tanah terdegradasi dalam definisi lain sering disebut tanah tidak produktif, tanah kritis, atau tanah/lahan tidur yang dibiarkan terlantar tidak digarap dan umumnya ditumbuhi semak belukar (Wahyunto dan Ai Dariah, 2014). Lebih lanjut dijelaskan bahwa Lahan yang telah terdegradasi berat dan menjadi lahan kritis luasnya sekitar 48,3 juta ha atau 25,1% dari luas wilayah Indonesia. Untuk lahan gambut dari sekitar 14,9 juta ha lahan gambut di Indonesia, $\pm 3,74$ juta ha atau 25,1 % dari total luas gambut telah terdegradasi dan ditumbuhi semak belukar.

Degradasi lahan merupakan proses penurunan kualitas lahan yang disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk aktivitas manusia seperti deforestasi, perubahan penggunaan lahan, erosi, dan penurunan daya dukung lahan. Faktor sosioekonomi dan biofisik juga berperan dalam degradasi lahan, sehingga penting untuk memahami penyebab dari berbagai sudut pandang untuk merancang kebijakan yang efektif dalam mengatasi masalah ini (Salote et al., 2022). Erosi tanah menjadi salah satu dampak utama dari degradasi lahan, yang dapat

meningkatkan aliran permukaan dan erosi di Daerah Aliran Sungai (DAS) (Wahyuningrum & Putra, 2019; Pidin et al., 2019). Perubahan penggunaan lahan dari area hutan dan pertanian menjadi kawasan terbangun juga berkontribusi pada degradasi lahan, seperti yang terjadi di DAS Ciasem hulu (Lestiana et al., 2019). Luas penggunaan lahan dan kerapatan vegetasi bawah menjadi faktor penting yang berpengaruh terhadap degradasi tanah (Talakua & Osok, 2018; Talakua, 2020).

Dalam konteks global, degradasi lahan diperkirakan akan terus meningkat seiring dengan perubahan iklim, dan hal ini dapat mempengaruhi negara maju maupun negara berkembang (Dunggio et al., 2022). Perubahan iklim juga dapat mempercepat laju degradasi lahan gambut, terutama melalui perubahan tutupan lahan dan drainase (Gunawan et al., 2020).

Dalam penanganan degradasi lahan, penting untuk memperhatikan potensi penurunan produksi komoditas akibat degradasi daya dukung lahan, seperti yang terjadi dalam usaha agribisnis jeruk siam (Hazriani & Krisnohadi, 2021). Evaluasi kesesuaian lahan juga menjadi kunci dalam memprediksi keragaan lahan dan mengidentifikasi kendala penggunaan lahan yang produktif serta dampak degradasi lingkungan yang mungkin terjadi (Prabakusuma, 2023). Lahan yang telah mengalami degradasi akan berkurang daya dukungnya terhadap penyediaan kebutuhan pangan sehingga akan berimbas pada menurunnya tingkat kesejahteraan masyarakat.

7.3 Penyebab degradasi tanah dan dampaknya terhadap lingkungan dan kehidupan manusia

Degradasi tanah merupakan masalah serius yang disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kebakaran hutan, kerusakan habitat akibat aktivitas manusia, pencemaran tanah,

dan peningkatan logam berat seperti merkuri. Studi menunjukkan bahwa kebakaran hutan dapat memengaruhi sifat fisik dan kimia tanah, seperti yang terjadi di Taman Nasional Kutai, Kalimantan Timur Murtinah et al. (2017). Selain itu, kerusakan habitat akibat kehadiran manusia dalam hutan lindung juga dapat mempengaruhi ekosistem, seperti respon semut terhadap kerusakan habitat di Hutan Lindung Sirimau Ambon (Latumahina et al., 2015). Pencemaran tanah, baik oleh sampah kertas maupun limbah peternakan, juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Dinarti & Mahatmaharti, 2022; Romansah, 2020). Selain itu, peningkatan logam berat seperti merkuri di Gunung Botak, Kabupaten Kepulauan Buru, Maluku, juga menjadi perhatian karena dapat merusak lingkungan (Hindratmo et al., 2019).

Dampak degradasi tanah terhadap lingkungan dan kehidupan manusia sangat signifikan. Degradasi tanah dapat menyebabkan perubahan iklim, seperti yang terjadi akibat kerusakan hutan (Samosir & Boiliu, 2022). Selain itu, degradasi tanah juga dapat mengurangi kemampuan ekosistem, seperti hutan mangrove, dalam menyerap dan menyimpan karbon, yang berdampak pada perubahan iklim global (Sulistyorini et al., 2020). Polusi tanah juga menjadi masalah serius yang dapat membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan secara keseluruhan (Amin, 2021). Selain itu, keberadaan logam berat seperti merkuri di lingkungan dapat memberikan dampak negatif yang signifikan (Hindratmo et al., 2019).

Dengan demikian, perlindungan dan pemulihan tanah dari degradasi sangat penting untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan kehidupan manusia. Langkah-langkah seperti remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan biochar telah diusulkan sebagai salah satu cara untuk mengatasi masalah degradasi tanah (Hidayat, 2015). Selain itu, pendekatan edukasi dan kesadaran lingkungan, seperti program bank

sampah dan workshop daur ulang, juga dapat membantu mengurangi dampak degradasi tanah dan meningkatkan kepedulian terhadap lingkungan (Dinarti & Mahatmaharti, 2022; Nurseto, 2022).

Faktor-faktor penyebab utama degradasi tanah dapat bervariasi tergantung pada kondisi dan konteks geografis tertentu. Beberapa faktor yang umumnya diidentifikasi sebagai penyebab utama degradasi tanah meliputi:

1. Erosi Tanah: Erosi tanah merupakan faktor utama yang menyebabkan degradasi tanah. Penelitian oleh (Ayuningtyas et al., 2018) menunjukkan bahwa erodibilitas tanah adalah faktor penentu utama kehilangan tanah.
2. Penggunaan Lahan: Penggunaan lahan yang tidak tepat dapat menyebabkan degradasi tanah. Studi oleh Osok et al. (2018) menemukan bahwa luas penggunaan lahan dan kerapatan vegetasi merupakan faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi lahan.
3. Kegiatan Manusia: Kegiatan manusia seperti pertanian intensif, deforestasi, dan pembangunan infrastruktur dapat menjadi faktor utama degradasi tanah. Lim et al. (2019) menyoroti bahwa aktivitas manusia yang merusak vegetasi dapat menyebabkan tanah kehilangan stabilitasnya.
4. Faktor Alam: Faktor alam seperti gempa bumi dan curah hujan yang tinggi juga dapat menyebabkan degradasi tanah. Hidayat (2020) menjelaskan bahwa faktor internal seperti kondisi geologi dan faktor pendorong seperti curah hujan dan gempa bumi dapat menyebabkan tanah longsor.
5. Topografi dan Vegetasi: Topografi dan vegetasi juga memainkan peran penting dalam degradasi tanah. Osok et al. (2018) menemukan bahwa erodibilitas tanah, topografi, dan vegetasi penutup merupakan faktor dominan yang mempengaruhi tingkat degradasi tanah.

Dengan pemahaman yang mendalam tentang faktor-faktor penyebab degradasi tanah, langkah-langkah perlindungan dan rehabilitasi tanah yang tepat dapat diimplementasikan untuk menjaga keberlanjutan lingkungan dan kehidupan manusia. Dampak negatif degradasi tanah terhadap lingkungan, pertanian, dan masyarakat sangat signifikan dan dapat bervariasi tergantung pada konteksnya. Beberapa dampak negatif yang umum terjadi adalah:

1. Dampak terhadap pertanian

Degradasi tanah dapat mengurangi kesuburan tanah dan produktivitas pertanian. Kekeringan yang disebabkan oleh degradasi tanah dapat menghambat pertumbuhan tanaman, seperti yang disorot oleh (Permatasari et al., 2021).

2. Dampak terhadap Lingkungan

Degradasi tanah dapat menyebabkan kerusakan lingkungan yang luas, seperti yang terjadi pada lingkungan pantai Sanur akibat pariwisata, seperti yang diteliti oleh (Anggreni, 2021). Penambangan timah inkonvensional juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, seperti yang terungkap dalam studi oleh (Erwana et al., 2016).

3. Dampak terhadap Masyarakat

Dampak degradasi tanah juga dapat dirasakan oleh masyarakat secara langsung. Misalnya, pembangunan PLTU dapat berdampak negatif terhadap kondisi ekonomi, sosial, dan kesehatan masyarakat, seperti yang disoroti oleh (Berliandaldo & Hendrix, 2022).

7.4. Metode dan teknik dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi kerusakan/ degradasi tanah

Metode dan teknik dalam mengidentifikasi dan mengevaluasi kerusakan atau degradasi tanah pertanian melibatkan pendekatan yang khusus untuk konteks pertanian. Salah satu metode yang relevan adalah penggunaan citra satelit dengan metode Object-Based Image Analysis (OBIA) dan pembobotan lereng, yang dapat membantu dalam mengidentifikasi dan mengestimasi kerusakan tanah (Basuki et al., 2023). Selain itu, pemanfaatan teknologi UAV (Unmanned Aerial Vehicle) juga dapat digunakan untuk identifikasi dan klasifikasi kerusakan tanah pertanian dengan parameter perubahan tinggi penerbangan (Utomo et al., 2023).

Metode geolistrik resistivitas konfigurasi Schlumberger juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik akuifer dan potensi air tanah di area pertanian (Irawan et al., 2022). Metode ini dapat memberikan informasi penting terkait dengan kondisi air tanah yang mempengaruhi kesehatan tanah pertanian. Selain itu, metode pengukuran kondisi tanah dengan metode Potensial Diri juga dapat digunakan untuk menduga potensi air tanah pada lahan pertanian (Siswoyo et al., 2018).

Penggunaan sistem pakar dengan metode seperti *Forward Chaining* juga dapat diterapkan dalam mengidentifikasi kerusakan pada tanah pertanian, seperti dalam kasus identifikasi gejala kerusakan motor matic (Agasi & Sumijan, 2020). Metode ini dapat membantu dalam menentukan langkah-langkah perbaikan yang tepat untuk menjaga kesehatan tanah pertanian. Dengan demikian, melalui kombinasi metode seperti penggunaan citra satelit, teknologi UAV, metode geolistrik, pengukuran Potensial Diri, dan sistem pakar dengan metode *Forward Chaining*, identifikasi dan evaluasi kerusakan atau

degradasi tanah pertanian dapat dilakukan secara komprehensif dan efektif untuk mendukung upaya pemulihan dan perlindungan tanah pertanian yang berkelanjutan.

7.5 Pendekatan dan strategi perbaikan/remediasi lahan yang efektif

Pendekatan dan strategi perbaikan lahan pertanian yang efektif memerlukan keseimbangan antara produksi pangan dan konservasi keanekaragaman hayati. Dalam literatur, terdapat dua pendekatan utama yang dibandingkan: land sharing dan land sparing. Land sharing mengacu pada praktik pertanian yang berbagi lahan dengan keanekaragaman hayati, sementara land sparing fokus pada meningkatkan produktivitas pertanian pada lahan yang terpisah dari area konservasi (Phalan et al., 2011; Sidemo-Holm et al., 2021). Studi menunjukkan bahwa lebih banyak spesies yang terpengaruh negatif oleh pertanian daripada yang mendapat manfaat, terutama spesies dengan sebaran global yang kecil (Phalan et al., 2011). Sementara itu, land sparing dianggap lebih efektif dalam melestarikan keanekaragaman hayati daripada land sharing (Kamp et al., 2015).

Selain itu, globalisasi ekonomi telah menjadi tantangan bagi negara berkembang dalam mencari lahan pertanian yang semakin terbatas, yang berpotensi memicu deforestasi (Lambin & Meyfroidt, 2011). Strategi perbaikan lahan pertanian yang efektif juga harus mempertimbangkan integrasi antara pertanian dan konservasi keanekaragaman hayati. Penelitian menunjukkan bahwa kombinasi elemen dari kedua strategi, land sharing dan land sparing, cenderung menjadi optimal dalam mempertahankan produktivitas pertanian dan konservasi keanekaragaman hayati (Butsic et al., 2020).

Dalam konteks mitigasi gas rumah kaca, intensifikasi pertanian juga menjadi salah satu cara untuk mengurangi emisi yang dihasilkan oleh sektor pertanian (Burney et al., 2010). Faktor-faktor seperti perubahan penggunaan lahan, pertumbuhan populasi, perubahan konsumsi pangan, dan efisiensi pertanian juga perlu dipertimbangkan dalam strategi perbaikan lahan pertanian yang efektif (Wati et al., 2022). Dengan demikian, untuk mencapai perbaikan lahan pertanian yang efektif, diperlukan pendekatan yang mengintegrasikan pertanian yang produktif dengan konservasi keanekaragaman hayati, mempertimbangkan faktor global seperti globalisasi ekonomi dan perubahan iklim, serta memilih strategi yang tepat antara land sharing dan land sparing berdasarkan kondisi lokal dan tujuan yang diinginkan.

Metode perbaikan dan remediasi lahan pertanian dapat melibatkan berbagai pendekatan dan strategi yang dapat diterapkan untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan lahan pertanian. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah penggunaan pestisida nabati sebagai pengendali hama yang ramah lingkungan, dimana Indonesia memiliki berbagai sumber daya hayati yang dapat dimanfaatkan untuk tujuan ini (Sutriadi et al., 2020). Pengelolaan lahan pertanian juga dapat ditingkatkan melalui sistem pertanian terpadu yang melibatkan berbagai aspek pertanian secara holistik untuk meningkatkan hasil pertanian (Hidayati et al., 2019). Selain itu, aplikasi *Internet of Things* (IoT) juga dapat digunakan untuk memantau kebun hidroponik dan meningkatkan kualitas serta kuantitas hasil panen (FNU, 2022). Sistem informasi berbasis IoT juga dapat digunakan untuk memantau lahan pertanian dan mengusir hama, sehingga membantu petani dalam mengelola lahan pertanian dengan lebih efektif (Praseptiawan et al., 2022).

Selain itu, keberlanjutan lahan pertanian juga dapat ditingkatkan melalui analisis kebijakan insentif yang bertujuan untuk melindungi lahan pertanian pangan secara berkelanjutan (Sihombing et al., 2021). Evaluasi kesesuaian lahan pertanian juga dapat dilakukan menggunakan Geographic Information System (GIS) untuk menentukan kesesuaian lahan untuk budidaya tertentu (Basuki et al., 2022). Selain itu, identifikasi kekeringan lahan dengan citra satelit juga dapat membantu dalam mengambil langkah-langkah yang tepat untuk mengatasi masalah kekeringan (Noraini et al., 2022). Dengan demikian, berbagai metode perbaikan dan remediasi lahan pertanian yang efektif melibatkan penerapan teknologi, pengelolaan yang terintegrasi, analisis kebijakan, dan pemanfaatan sumber daya hayati yang ada untuk mencapai tujuan produktivitas dan keberlanjutan lahan pertanian.

Metode perbaikan dan remediasi lahan pertanian yang rusak dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan yang efektif. Berikut metode perbaikan yang dapat diterapkan:

1. Penggunaan Pestisida Nabati, pengendalian hama dengan pestisida nabati dapat menjadi solusi ramah lingkungan untuk mengurangi kerusakan lahan Sutriadi et al. (2020).
2. Pengelolaan Hara Terpadu, pengelolaan hara terpadu, seperti penanaman penyangga di musim tanam pertama dan sistem kidnap pada musim tanam kedua, dapat mencegah kerusakan lahan (Kasno et al., 2020).
3. Penerapan Sistem Pertanian Terpadu, sistem pertanian terpadu yang holistik dapat membantu dalam meningkatkan hasil pertanian dan menjaga kesuburan lahan (Hidayati et al., 2019).
4. Pemanfaatan Teknologi IoT, pemantauan kelembaban lahan menggunakan teknologi IoT dapat membantu dalam

mengoptimalkan penggunaan air dan nutrisi tanaman (Qorni et al., 2023).

5. Pertanian Urban, konsep pertanian urban, seperti home farming dan community farming, dapat menjadi solusi untuk memanfaatkan lahan terbatas secara efisien (Abdurrohman et al., 2021).
6. Penggunaan Metode Hidroponik, metode pertanian hidroponik dapat menjadi alternatif untuk memanfaatkan lahan secara optimal tanpa mengandalkan lahan secara konvensional (Martin et al., 2022).
7. Penerapan Agroforestri, simulasi menunjukkan bahwa penerapan agroforestri pada lahan pertanian efektif dalam menurunkan erosi tanah (Wang, 2022).
8. Analisis Kebijakan Insentif, analisis kebijakan insentif dapat membantu dalam melindungi lahan pertanian secara berkelanjutan (Sihombing et al., 2021).
9. Evaluasi Kesesuaian Lahan, evaluasi kesesuaian lahan menggunakan Geographic Information System (GIS) dapat membantu dalam menentukan penggunaan lahan yang tepat (Basuki et al., 2022).
10. Optimalisasi Pemanfaatan Aset Lahan, identifikasi dan optimalisasi pemanfaatan aset lahan dapat membantu dalam memperbaiki lahan pertanian yang rusak (Asra et al., 2022).

Dengan menerapkan berbagai metode ini secara terintegrasi dan sesuai dengan kondisi lokal, perbaikan lahan pertanian yang rusak dapat dilakukan secara efektif untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan lahan.

7.6 Teknik rehabilitasi tanah seperti pengolahan tanah, pemupukan, dan pengendalian erosi

Rehabilitasi tanah melalui teknik seperti pengelolaan tanah, pemupukan, dan pengendalian erosi sangat penting untuk meningkatkan produktivitas tanah dan memastikan praktik pertanian berkelanjutan. Rehabilitasi tanah di Ultisol, yang ditandai dengan keasaman dan kandungan unsur hara yang buruk, memerlukan intervensi seperti aplikasi biochar dan pemupukan fosfor untuk meningkatkan ketersediaan dan penyerapan unsur hara oleh tanaman (Putriani et al., 2022). Praktik-praktik seperti pengelolaan tanah, pemberian mulsa, dan pemupukan dilakukan untuk meningkatkan sifat fisik tanah, yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tanaman (Yanti dkk., 2020). Faktor-faktor seperti curah hujan dan pemupukan berdampak signifikan terhadap hasil tebu, sehingga menyoroti pentingnya penanganan kondisi tanah dan iklim untuk produksi tanaman yang optimal (Hartatie et al., 2020).

Pemadatan tanah akibat struktur tanah yang buruk dapat membatasi penetrasi akar, mengurangi infiltrasi air, dan menghambat pergerakan udara, sehingga menyebabkan penurunan hasil panen (Husni et al., 2022). Pemupukan merupakan aspek penting dalam budidaya, mendukung pertumbuhan dan produksi berbagai tanaman seperti kumis kucing melalui metode pemupukan yang berbeda dan ketinggian pemangkasan dalam rotasi tanaman (Delyani et al., 2017). Praktek penggunaan pupuk organik seperti biokompos telah dilakukan sebagai upaya untuk meningkatkan kesuburan tanah pada lahan suboptimal dengan pola tanah tumpang sari jagung-kedelai dapat dilihat di **gambar 1** (E.S Hayat et al., 2024). Praktik pemupukan yang efisien, dengan mempertimbangkan karakteristik tanah dan kebutuhan unsur hara, sangat penting untuk mempertahankan pertumbuhan tanaman dan mengurangi

penipisan unsur hara di lahan sawah (Adnyana, 2014). Pada tanah marginal di sabana yang kekurangan unsur hara makro seperti N, P, dan K, pemupukan dengan NPK sangat penting untuk meningkatkan pertumbuhan *Eucalyptus camaldulensis* selama upaya rehabilitasi (Surata, 2009). Aplikasi biochar dan bokashi yang diaplikasikan di tanah alluvial dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman kedelai (S Andayani et al., 2024) Mesin terintegrasi untuk penanaman jagung, pemupukan, dan pengolahan tanah membantu mengoptimalkan praktik pertanian, memastikan pengolahan tanah dan pengelolaan tanaman yang efisien (Sitorus dkk., 2015).



Gambar 7. 1. Upaya peningkatan kesuburan tanah dengan aplikasi biokompos pada tumpang sari jagung-kedelai di lahan gambut

Selain itu, penggunaan mikroorganisme tanah untuk meningkatkan efisiensi pemupukan pada budidaya karet menunjukkan potensi biota tanah dalam meningkatkan ketersediaan dan penyerapan unsur hara oleh tanaman (Sembiring dkk., 2013). Selain itu, penerapan jamur mikoriza dan pemupukan fosfat sangat berpengaruh terhadap

pertumbuhan dan produksi tanaman kacang tanah, sehingga peran pemupukan dalam perkembangan tanaman sangat penting (Faza et al., 2019). Rekomendasi pemupukan kelapa sawit berdasarkan faktor lingkungan dan kondisi tanah menggarisbawahi pentingnya strategi pemupukan yang disesuaikan untuk berbagai tanaman (Saputra, 2018).

Kesimpulannya, pendekatan holistik terhadap rehabilitasi tanah yang melibatkan pengolahan tanah, pemupukan yang tepat, dan tindakan pengendalian erosi sangat penting untuk pertanian berkelanjutan. Dengan mempertimbangkan karakteristik tanah, kebutuhan tanaman, dan faktor lingkungan, petani dapat menerapkan praktik pengelolaan tanah yang efektif untuk meningkatkan kesehatan tanah, mengoptimalkan ketersediaan unsur hara, dan meningkatkan produktivitas tanaman.



Gambar 7. 2. Pertumbuhan Kedelai akibat aplikasi biochar sekam padi dan bokashi pupuk kandang burung puyuh di tanah Alluvial

7.7 Studi kasus tentang perbaikan dan remediasi lahan di berbagai wilayah dan kondisi

Dalam mengatasi kasus perbaikan dan remediasi lahan di berbagai wilayah dan kondisi, pendekatan komprehensif sangatlah penting. Studi seperti Lin & Chen (2022) memberikan wawasan mengenai zonasi fungsional dan pemilihan jalur untuk konsolidasi lahan, menekankan pentingnya mempertimbangkan kondisi alam, keunggulan lokasi, sosial ekonomi, dan penggunaan lahan dalam prosesnya. Pandangan holistik ini sangat penting untuk strategi remediasi yang efektif. Lebih lanjut, Shaygan & Baumgartl (2018) menyoroti potensi halofit dalam merehabilitasi tanah yang terkena dampak air asin, dan menunjukkan efektivitas spesies tanaman tertentu dalam upaya remediasi. Memahami karakteristik spesifik tanaman dan kemampuannya untuk tumbuh subur di kondisi tanah yang menantang sangat penting untuk keberhasilan proyek restorasi lahan.

Selain itu, penelitian seperti Hou et al. (2017) menekankan pentingnya keberlanjutan dalam proyek remediasi lahan pertanian, menekankan perlunya memasukkan aspek sosial dan bukti ilmiah untuk keberlanjutan pertanian jangka panjang. Hal ini menyoroti pentingnya tidak hanya faktor lingkungan tetapi juga pertimbangan sosial dan ekonomi dalam inisiatif remediasi.

Selain itu, mengintegrasikan dimensi sosial dalam proses pengambilan keputusan, seperti yang dibahas oleh (Harclerode et al., 2015), sangat penting untuk memastikan bahwa upaya remediasi selaras dengan kebutuhan pemangku kepentingan dan persyaratan hukum. Melibatkan masyarakat lokal dan mempertimbangkan karakteristik sosio-ekonomi mereka dapat menghasilkan strategi perbaikan lahan yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Kesimpulannya, strategi perbaikan dan remediasi lahan yang berhasil memerlukan pendekatan multidisiplin yang mempertimbangkan faktor ekologi, sosial, dan ekonomi. Dengan memanfaatkan wawasan dari studi mengenai zonasi, potensi remediasi tanaman, keberlanjutan, dan dimensi sosial, para pemangku kepentingan dapat mengembangkan rencana remediasi yang komprehensif dan efektif yang disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi regional tertentu.

Studi lain oleh Erfrissadona et al. (2020) yang mengevaluasi valuasi ekonomi lingkungan akibat alih fungsi lahan pertanian di Kota Tasikmalaya, Jawa Barat, menyoroti dampak negatif dari konversi lahan terhadap nilai layanan lingkungan. Hal ini menunjukkan perlunya pertimbangan yang cermat dalam merencanakan penggunaan lahan untuk mencegah kerugian lingkungan.

Dengan demikian, melalui pemahaman mendalam dari berbagai studi kasus seperti yang disebutkan di atas, dapat dikembangkan strategi perbaikan dan remediasi lahan yang holistik, berkelanjutan, dan sesuai dengan kondisi setempat untuk mencapai tujuan konservasi lahan yang efektif. Dalam mengatasi degradasi tanah, praktik terbaik didasarkan pada pengalaman lapangan yang telah terbukti efektif. Salah satu pendekatan yang berhasil adalah melalui praktik pertanian konservasi, seperti yang disorot oleh (Naharuddin, 2018). Praktik ini telah terbukti mampu mencegah degradasi lahan, mengurangi erosi, dan meningkatkan produktivitas pertanian serta pendapatan petani. Selain itu, praktik remediasi tanah dengan teknik cuci lahan (soil washing) juga merupakan strategi yang efektif, terutama dalam mengatasi tanah yang tercemar, seperti yang dijelaskan oleh (Mulyono, 2022). Teknik ini membantu membersihkan tanah yang terkontaminasi dan mengembalikan kualitas tanah yang produktif.

Pentingnya praktik pengalaman lapangan juga terbukti dalam studi oleh Sa'Idah (Sa'Idah et al., 2022), di mana melalui metode *service learning*, siswa dapat meningkatkan pengalaman kerja mereka. Hal ini membuktikan bahwa praktik lapangan dapat memberikan manfaat nyata dalam meningkatkan keterampilan dan kualitas sumber daya manusia di berbagai sektor. Dengan demikian, praktik terbaik dalam mengatasi degradasi tanah melibatkan berbagai pendekatan, mulai dari praktik pertanian konservasi hingga teknik remediasi seperti cuci lahan, serta penerapan praktik lapangan yang dapat meningkatkan pengalaman dan keterampilan individu dalam mengelola lahan secara berkelanjutan. Studi oleh Nugraha et al. (2022) juga menyoroti pentingnya kolaborasi antara pemerintah desa dengan berbagai pemangku kepentingan untuk meningkatkan partisipasi masyarakat dalam konservasi lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa melibatkan berbagai pihak dalam upaya pelestarian lingkungan dapat memberikan hasil yang lebih efektif.

Selain itu, Rasdi dan Kurniawan Rasdi & Kurniawan (2019) menekankan bahwa kemitraan antara pemerintah dan sektor swasta bertujuan untuk memecahkan permasalahan yang terjadi di masyarakat. Dengan demikian, kolaborasi ini dapat menjadi solusi dalam mengatasi kerusakan tanah dengan pendekatan yang holistik.

Dalam konteks pengelolaan kerusakan tanah, sinergi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta juga diperkuat oleh studi (Berliandaldo et al., 2021), yang menyoroti pentingnya kolaborasi antar pemangku kepentingan untuk menciptakan kebijakan yang lebih baik bagi semua pihak. Dengan demikian, melalui kolaborasi yang kokoh antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta, upaya mengatasi kerusakan tanah dapat dilakukan secara efektif dan berkelanjutan.

Kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta dalam mengatasi kerusakan tanah dalam konteks pertanian merupakan langkah penting untuk mencapai keberlanjutan dan efisiensi dalam pengelolaan sumber daya alam. Sebagai contoh, implementasi program kemitraan dalam sistem pertanian terpadu, seperti yang dibahas oleh (Pasaribu, 2016), menunjukkan bagaimana pola kemitraan antara pemerintah dan sektor swasta dapat diterapkan secara efektif dalam sektor pertanian. Kolaborasi ini memungkinkan adanya sinergi antara berbagai pihak untuk meningkatkan produktivitas dan kesejahteraan petani.

Selain itu, strategi pengembangan pertanian di daerah tertentu, seperti yang dianalisis oleh (Lawolo et al., 2022), menekankan pentingnya pengembangan bibit unggul, pertanian berbasis teknologi, digitalisasi informasi, dan kebijakan pro-petani. Kolaborasi antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta dalam menerapkan strategi ini dapat memberikan dampak positif dalam meningkatkan produktivitas pertanian dan mengurangi kerusakan tanah.

Dalam konteks pembangunan pertanian yang berkelanjutan, investasi dalam riset pertanian dan teknologi juga menjadi kunci, seperti yang disoroti oleh (Fuglie, 2016). Kolaborasi antara pemerintah, lembaga riset, dan sektor swasta dalam mendukung investasi ini dapat mempercepat inovasi dan peningkatan produktivitas pertanian.

Dengan demikian, melalui kolaborasi yang kokoh antara pemerintah, masyarakat, dan sektor swasta, berbagai inisiatif dan strategi dalam bidang pertanian dapat diimplementasikan secara efektif untuk mengatasi kerusakan tanah, meningkatkan ketahanan pangan, dan mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrohman, A., Arkasala, F., & Nurhidayah, N. (2021). Penerapan konsep urban farming-based resilient city dalam pengembangan kota yang berketahanan pangan di kota surakarta. *Desa-Kota*, 3(2), 162. <https://doi.org/10.20961/desa-kota.v3i2.48012.162-170>
- Adnyana, I. (2014). Rekomendasi pemupukan k spesifik lokasi untuk tanaman padi sawah. *Planta Tropika Journal of Agro Science*, 2(1), 32-36. <https://doi.org/10.18196/pt.2016.022.32-36>
- Agasi, A. and Sumijan, S. (2020). Identifikasi gejala kerusakan motor matic tipe lexi merk yamaha dengan menggunakan metode forward chaining berbasis web. *Jurnal Sistim Informasi Dan Teknologi*. <https://doi.org/10.37034/jsisfotek.v2i4.122>
- Amin, M. (2021). Polusi tanah dan dampaknya terhadap kesehatan manusia. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 15(1), 36. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v15n1.2021.36-45>
- Anggreni, N. (2021). Pariwisata di tengah pandemi covid-19: dampaknya terhadap lingkungan pantai sanur. *Jurnal Kajian Dan Terapan Pariwisata*, 2(1), 27-36. <https://doi.org/10.53356/diparojs.v2i1.42>
- Asra, R., Bibin, M., Mursalat, A., & Irwan, M. (2022). Optimalisasi pemanfaatan aset lahan pertanian organisasi muhammadiyah cabang rappang. *Agrimor*, 7(4), 130-140. <https://doi.org/10.32938/ag.v7i4.1857>
- Ayuningtyas, E., Ilma, A., & Yudha, R. (2018). Pemetaan erodibilitas tanah dan korelasinya terhadap karakteristik tanah di das serang, kulonprogo. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan (Jntt)*, 2(1), 135. <https://doi.org/10.22146/jntt.39194>

- Basuki, B., Hermiyanto, B., & Budiman, S. (2023). Identifikasi dan estimasi kerusakan tanah dengan metode berbasis obia citra satelit sentinel-2b dan pembobotan lereng gunung raung. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 11(1), 56-72. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v11i1.443>
- Basuki, B., Mandala, M., Bowo, C., & Fitriani, V. (2022). Evaluation of the suitability of a sugarcane plant in mount argopura's volcanic land using a geographic information system. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian Dan Biosistem*, 10(1), 145-160. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v10i1.315>
- Berliandaldo, M., Chodiq, A., & Fryantoni, D. (2021). Kolaborasi dan sinergitas antar stakeholder dalam pembangunan berkelanjutan sektor pariwisata di kebun raya cibinong. *Inobis Jurnal Inovasi Bisnis Dan Manajemen Indonesia*, 4(2), 221-234. <https://doi.org/10.31842/jurnalinobis.v4i2.179>
- Berliandaldo, M. and Hendrix, T. (2022). Dampak pltu terhadap kondisi ekonomi, sosial, dan kesehatan masyarakat dalam lingkungan hidup di kecamatan jenu. *Vitruvian*, 11(3), 261. <https://doi.org/10.22441/vitruvian.2022.v11i3.008>
- Burney, J., Davis, S., & Lobell, D. (2010). Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(26), 12052-12057. <https://doi.org/10.1073/pnas.0914216107>
- Butsic, V., Kuemmerle, T., Pallud, L., Helmstedt, K., Macchi, L., & Potts, M. (2020). Aligning biodiversity conservation and agricultural production in heterogeneous landscapes. *Ecological Applications*, 30(3). <https://doi.org/10.1002/eap.2057>
- Danardono, Taryono, Saiful Ridwan (2024). Assessment of soil degradation for biomass production in tanjungpinang, indonesia. *Iop Conference Series Earth and Environmental Science*, 1291(1), 012017. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1291/1/012017>

- Delyani, R., Kurniawati, A., Melati, M., & Faridah, D. (2017). Produksi simplisia kumis kucing dengan perbedaan cara pemupukan dan ketinggian pangkas pada rotasi panen tiga minggu. *Jurnal Hortikultura Indonesia*, 8(3), 209-217. <https://doi.org/10.29244/jhi.8.3.209-217>
- Dinarti, S. and Mahatmaharti, A. (2022). Workshop daur ulang kertas bekas sebagai upaya menanamkan karakter peduli lingkungan pada siswa smp darul ulum 2 jombang. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 224-234. <https://doi.org/10.32815/jpm.v3i2.1199>
- Dunggio, I., Lihawa, F., & Hasan, R. (2022). Dinamika perubahan tutupan hutan dan lahan di sub das tamalate kabupaten bone bolango. *Gorontalo Journal of Forestry Research*, 5(2), 91. <https://doi.org/10.32662/gjfr.v5i2.2451>
- E. S. Hayat, S. Andayani, & R. Suryani (2024) Biokompos Kunci Pengelolaan Lahan Suboptimal. Penerbit : Get Press Indonesia, Padang . ISBN : 978-623-125-090-2
- Erfrissadona, Y., Sulistyowati, L., & Setiawan, I. (2020). Valuasi ekonomi lingkungan akibat alih fungsi lahan pertanian (suatu kasus di kota tasikmalaya, jawa barat). *Jsep (Journal of Social and Agricultural Economics)*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.19184/jsep.v13i1.15784>
- Erfandi, D. (2020). Pengelolaan lansekap lahan bekas tambang: pemulihan lahan dengan pemanfaatan sumberdaya lokal (in-situ). *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(2), 55. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v11n2.2017.55-66>
- Erwana, F., Dewi, K., & Rahardyan, B. (2016). Kajian dampak penambangan timah inkonvensional terhadap lingkungan dan sosial ekonomi masyarakat (studi kasus: kabupaten bangka barat provinsi kepulauan bangka belitung). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(2), 32-41. <https://doi.org/10.5614/j.tl.2016.22.2.4>

- Faza, D., Lukiwati, D., & Karno, K. (2019). Pertumbuhan dan produksi tanaman kacang tanah (*arachis hypogaea* l.) dengan inokulasi cendawan mikoriza vesikular-arbuskular dan pemupukan fosfat. *Journal of Agro Complex*, 3(1), 48. <https://doi.org/10.14710/joac.3.1.48-54>
- FNU, K. (2022). Aplikasi internet of things monitoring kebun hidroponik model nft menggunakan panel solar. *Jurnal Tika*, 7(2), 121-128. <https://doi.org/10.51179/tika.v7i2.1263>
- Fuglie, K. (2016). Investing in agricultural productivity in indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 17(2), 1. <https://doi.org/10.21082/fae.v17n2.1999.1-16>
- Gunawan, H., Afriyanti, D., Humam, I., Nugraha, F., Wetadewi, R., Surayah, L., Nugroho, A & Antonius, S. (2020). Pengelolaan lahan gambut tanpa bakar: upaya alternatif restorasi pada lahan gambut basah. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(4), 668-678. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.4.668-678>
- Hartatie, D., Jember, P., Harlianingtyas, I., & Supriyadi, F. (2020). Pengaruh curah hujan dan pemupukan terhadap rendemen tebu di pg asembagus situbondo.. <https://doi.org/10.25047/agropross.2020.35>
- Harclerode, M., Ridsdale, D., Darmendrail, D., Bardos, P., Alexandrescu, F., Nathanail, Pizzol, L., & Rizzo, E. (2015). Integrating the social dimension in remediation decision-making: state of the practice and way forward. *Remediation Journal*, 26(1), 11-42. <https://doi.org/10.1002/rem.21447>

- Hazriani, R. and Krisnohadi, A. (2021). Karakteristik tanah, kesesuaian lahan, dan faktor pembatas budidaya jeruk siam (*Citrus nobilis* L var. *microcarpa*) di kecamatan tebas, Kalimantan Barat. *Agroland Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 28(3), 233-242. <https://doi.org/10.22487/agrolandnasional.v28i3.1048>
- Hidayat, B. (2015). Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan biochar. *Jurnal Pertanian Tropik*, 2(1), 51-61. <https://doi.org/10.32734/jpt.v2i1.2878>
- Hidayat, M. (2020). Studi material tanah longsor akibat gempa Lombok 2018. *Teras Jurnal*, 10(2), 235. <https://doi.org/10.29103/tj.v10i2.330>
- Hidayati, F., Yonariza, Y., Nofialdi, N., & Yuzaria, D. (2019). Intensifikasi lahan melalui sistem pertanian terpadu: sebuah tinjauan. *Unri Conference Series Agriculture and Food Security*, 1, 113-119. <https://doi.org/10.31258/unricsagr.1a15>
- Hindratmo, B., Masitoh, S., Mukhtar, R., & Junaidi, E. (2019). Kandungan logam berat merkuri (Hg) di gunung botak kabupaten kepulauan buru provinsi Maluku. *Jurnal Ecolab*, 13(2), 124-129. <https://doi.org/10.20886/jklh.2019.13.2.124-129>
- Hou, D., Ding, Z., Li, G., Wu, L., Hu, P., Guo, G., Wang, X., Ma, Y., O'Connor, D. (2017). A sustainability assessment framework for agricultural land remediation in China. *Land Degradation and Development*, 29(4), 1005-1018. <https://doi.org/10.1002/ldr.2748>
- Husni, H., Septiani, W., & Tamzi, F. (2022). Dinamika simpanan karbon dan kepadatan tanah setelah pengolahan tanah. *Jurnal Agroecotania Publikasi Nasional Ilmu Budidaya Pertanian*, 4(1), 38-48. <https://doi.org/10.22437/agroecotania.v4i1.20434>

- Irawan, L., Arinta, D., Panoto, D., Pradana, I., Sulaiman, R., Nurrizqi, E., & Prasad, R. (2022). Identifikasi karakteristik akuifer dan potensi air tanah dengan metode geolistrik konfigurasi schlumberger di desa arjosari, kecamatan kalipare, kabupaten malang. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 27(1), 102-116. <https://doi.org/10.17977/um017v27i12022p102-116>
- Junaidi, J., Atminingsih, A., & Tistama, R. (2017). Perkembangan ekosistem dan potensi karet untuk reklamasi lahan bekas tambang batubara. *Warta Perkaretan*, 36(2), 113-130. <https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v36i2.397>
- Kamp, J., Urazaliev, R., Balmford, A., Donald, P., Green, R., Lamb, Aanthony J & Phalan, B. (2015). Agricultural development and the conservation of avian biodiversity on the eurasian steppes: a comparison of land-sparing and land-sharing approaches. *Journal of Applied Ecology*, 52(6), 1578-1587. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12527>
- Kasno, A., Setyorini, D., & Suastika, I. (2020). Pengelolaan hara terpadu pada lahan sawah tadah hujan sebagai upaya peningkatan produksi beras nasional. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(1), 15. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v14n1.2020.15-24>
- Lawolo, O., Waruwu, B., Pelawi, K., & Saragih, B. (2022). Analisis potensi, tantangan dan strategi pengembangan pertanian di kabupaten nias, provinsi sumatera utara. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Tanaman*, 1(2), 35-45. <https://doi.org/10.55606/jurrit.v1i2.431>
- Lambin, É. and Meyfroidt, P. (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(9), 3465-3472. <https://doi.org/10.1073/pnas.1100480108>

- Latumahina, F., Musyafa, M., Sumardi, S., & Putra, N. (2015). Respon semut terhadap kerusakan antropogenik dalam hutan lindung sirimau ambon (ants response to damage anthropogenic in sirimau forest ambon). *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 22(2), 169. <https://doi.org/10.22146/jml.18739>
- Lestiana, H., Mulyono, A., Maria, R., & Mulyadi, D. (2019). Kesesuaian lahan berdasarkan indeks konservasi secara spasial di das ciasem hulu, subang. *Limnotek Perairan Darat Tropis Di Indonesia*, 26(2). <https://doi.org/10.14203/limnotek.v26i2.213>
- Lin, Y. and Chen, D. (2022). Functional zoning and path selection of land comprehensive consolidation based on grey constellation clustering: a case study of dongying city, china. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(11), 6407. <https://doi.org/10.3390/ijerph19116407>
- Lim, C., Jamaluddin, T., & Komoo, I. (2019). Human-induced landslides at bukit antarabangsa, hulu kelang, selangor. *Bulletin of the Geological Society of Malaysia*, 67, 9-20. <https://doi.org/10.7186/bgsm67201902>
- Lu, D., Batistella, M., Mausel, P., & Moran, E. (2006). Mapping and monitoring land degradation risks in the western brazilian amazon using multitemporal landsat tm/etm+ images. *Land Degradation and Development*, 18(1), 41-54. <https://doi.org/10.1002/ldr.762>
- Martin, A., Jeprianto, J., & Mardiyanto, M. (2022). Sosialisasi meningkatkan hasil usaha dengan bertanam hidroponik di pekon sukoharjo ii. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Tapis Berseri (Jpmtb)*, 1(2), 139-145. <https://doi.org/10.36448/jpmtb.v1i2.27>

- Mulyono, M. (2022). Teknik cuci lahan (soil washing) untuk remediasi lahan tercemar minyak bumi. Karakteristik Dan Potensi Batuan Sumber Hidrokarbon Dari Conto Permukaan Di Daerah Pemalang Jawa Tengah, 40(1), 3-8. <https://doi.org/10.29017/lpmgb.40.1.174>
- Mujiyo, M., Hardian, T., Widiyanto, H., & Herawati, A. (2022). Assessment of soil degradation potency for biomass production and the strategy for its management in giriwoyo-indonesia. Iop Conference Series Earth and Environmental Science, 986(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/986/1/012036>
- Murtinah, V., Edwin, M., & Bane, O. (2017). Dampak kebakaran hutan terhadap sifat fisik dan kimia tanah di taman nasional kutai, kalimantan timur. Jurnal Pertanian Terpadu, 5(2), 128-139. <https://doi.org/10.36084/jpt.v5i2.133>
- Naharuddin, N. (2018). Sistem pertanian konservasi pola agroforestri dan hubungannya dengan tingkat erosi di wilayah sub-das wuno, das palu, sulawesi tengah. Jurnal Wilayah Dan Lingkungan, 6(3), 183. <https://doi.org/10.14710/jwl.6.3.183-192>
- Noraini, A., Tjahjadi, M., & Sudiasa, I. (2022). Identifikasi kekeringan lahan kabupaten lamongan berdasarkan citra satelit. Buletin Poltanesa, 23(1). <https://doi.org/10.51967/tanesa.v23i1.958>
- Nugraha, S., Martuti, N., Ahmad, T., Saputro, D., & Melati, I. (2022). Penguatan pendidikan lingkungan hidup dan pengembangan rumah bibit di desa ngesrepbalong untuk konservasi gunung ungaran. Jurnal Abdi Media Pengabdian Kepada Masyarakat, 8(1), 29-35. <https://doi.org/10.26740/abdi.v8i1.14883>

- Nurseto, H. (2022). Peningkatan kepedulian lingkungan pada siswa sekolah melalui bank sampah di desa tangsimekar, kecamatan paseh, kabupaten bandung. *Dharmakarya*, 11(1), 67. <https://doi.org/10.24198/dharmakarya.v11i1.26408>
- Osok, R., Talakua, S., & Gaspersz, E. (2018). Analisis faktor-faktor erosi tanah, dan tingkat bahaya erosi dengan metode rusle di das wai batu merah kota ambon provinsi maluku. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 14(2), 89-96. <https://doi.org/10.30598/jbdp.2018.14.2.89>
- Pasaribu, S. (2016). Program kemitraan dalam sistem pertanian terpadu. *Analisis Kebijakan Pertanian*, 13(1), 39. <https://doi.org/10.21082/akp.v13n1.2015.39-54>
- Permatasari, N., Tambunan, M., Mannesa, M., & Tambunan, R. (2021). Pengaruh kekeringan pada produksi tanaman padi di kabupaten majalengka dengan penginderaan jauh metode ndvi. *Jurnal Geosaintek*, 7(1), 17. <https://doi.org/10.12962/j25023659.v7i1.8205>
- Phalan, B., Onial, M., Balmford, A., & Green, R. (2011). Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*, 333(6047), 1289-1291. <https://doi.org/10.1126/science.1208742>
- Pidin, F., Tarigan, S., & Kartiwa, B. (2019). Aplikasi model mapdas untuk simulasi karakteristik hidrologi das mikro yang didominasi perkebunan sawit. *Jurnal Ilmu Tanah Dan Lingkungan*, 21(1), 30-36. <https://doi.org/10.29244/jitl.21.1.30-36>
- Praseptiawan, M., Untoro, M., Millennium, L., & Affandi, M. (2022). Sistem informasi monitoring lahan pertanian dan pengusiran hama berbasis internet of thing. *Ilkomnika Journal of Computer Science and Applied Informatics*, 4(2), 162-170. <https://doi.org/10.28926/ilkomnika.v4i2.460>

- Prabakusuma, A. (2023). Laporan teknis budidaya perikanan tambak pati tahun 2016.. <https://doi.org/10.31219/osf.io/e96mz>
- Putriani, S., Yusnaini, S., Septiana, L., & Dermiyati, D. (2022). Aplikasi biochar dan pupuk p terhadap ketersediaan dan serapan p pada tanaman jagung manis (*zea mays saccharata sturt.*) di tanah ultisol. *Jurnal Agrotek Tropika*, 10(4), 615. <https://doi.org/10.23960/jat.v10i4.6447>
- Putra, C. and Makarim, C. (2020). Analisis alternatif perbaikan tanah lunak dan sangat lunak pada jalan tol. *JMTS Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(4), 1137. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i4.8382>
- Qorni, Q., Pamungkas, D., Wibowo, S., & Hermanto, D. (2023). Pemantauan dan pingingat kondisi kelembaban lahan menggunakan esp8266 dan iot. *MDP-SC*, 2(1), 226-233. <https://doi.org/10.35957/mdp-sc.v2i1.4056>
- Rasdi, D. and Kurniawan, T. (2019). Efektivitas kemitraan pemerintah dan swasta dalam upaya penanggulangan kemiskinan: sebuah tinjauan literatur. *Sosio Informa*, 5(2), 97-112. <https://doi.org/10.33007/inf.v5i2.1728>
- Romansah, F. (2020). Law enforcement against pollution of beef cattle livestock waste. *Administrative and Environmental Law Review*, 1(1), 25-32. <https://doi.org/10.25041/aclr.v1i1.2081>
- S Andayani, ES Hayat, A Mursalin, Johansyah (2024). Inovasi Teknologi Biochar dan Bokashi pada Tanaman Kedelai di Tanah Suboptimal Basah Secara Berkelanjutan. Penerbit : Get Press Indonesia, Padang. ISBN : 978-623-125-098-6
- Sa'idah, M., Rukmanasari, F., & Mahanani, P. (2022). Peningkatan pengalaman kerja siswa sekolah kejuruan berbasis praktik lapangan pada dinas pendidikan kota kediri. *Journal of Empowerment*, 3(2), 238. <https://doi.org/10.35194/je.v3i2.2736>

- Salote, M., Lihawa, F., & Dunggio, I. (2022). Hubungan kondisi sosial ekonomi masyarakat petani terhadap degradasi lahan di das alo pahu provinsi gorontalo. *Jambura Geo Education Journal*, 3(2), 88-96. <https://doi.org/10.34312/jgej.v3i2.14838>
- Samosir, C. and Boiliu, F. (2022). Pendidikan agama kristen sebagai upaya menjawab tantangan krisis lingkungan hidup. *Edukatif Jurnal Ilmu Pendidikan*, 4(1), 815-826. <https://doi.org/10.31004/edukatif.v4i1.1761>
- Sembiring, Y., Nugroho, P., & Istianto, I. (2013). Kajian penggunaan mikroorganisme tanah untuk meningkatkan efisiensi pemupukan pada tanaman karet. *Warta Perkaretan*, 32(1), 7. <https://doi.org/10.22302/ppk.wp.v32i1.31>
- Shaygan, M. and Baumgartl, T. (2018). The potential of three halophytes (*tecticornia pergranulata*, *sclerolaena longicuspis*, and *frankenian serpyllifolia*) for the rehabilitation of brine-affected soils. *Land Degradation and Development*, 29(6), 2002-2014. <https://doi.org/10.1002/ldr.2954>
- Sitorus, A., Hermawan, W., & Setiawan, R. (2015). Development of an integrated machine for corn planting, fertilizing and strip tillage. *Jurnal Keteknik Pertanian*, 03(2), 1-8. <https://doi.org/10.19028/jtep.03.2.81-88>
- Sidemo-Holm, W., Ekroos, J., & Smith, H. (2021). Land sharing versus land sparing—what outcomes are compared between which land uses?. *Conservation Science and Practice*, 3(11). <https://doi.org/10.1111/csp2.530>
- Sihombing, E., Andryan, A., & Astuti, M. (2021). Analisis kebijakan insentif dalam rangka perlindungan lahan pertanian pangan berkelanjutan di indonesia. *Jurnal Jatiswara*, 36(1). <https://doi.org/10.29303/jatiswara.v36i1.278>

- Siswoyo, H., Harganto, S., Kusuma, F., Hisbulloh, R., & Pratama, A. (2018). Penyelidikan potensi air tanah pada lahan pertanian di desa bono kecamatan pabelan kabupaten tulungagung dengan menggunakan metode potensial diri. *Dinamika Rekayasa*, 14(2). <https://doi.org/10.20884/1.dr.2018.14.2.219>
- Surata, I. (2009). Pemupukan npk pada tanaman eucalyptus camaldulensis dehn di lahan savana, kabupaten sumba timur, propinsi nusa tenggara timur. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 6(1), 9-18. <https://doi.org/10.20886/jpht.2009.6.1.9-18>
- Sutriadi, M., Harsanti, E., Wahyuni, S., & Wihardjaka, A. (2020). Pestisida nabati: prospek pengendali hama ramah lingkungan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(2), 89. <https://doi.org/10.21082/jsdl.v13n2.2019.89-101>
- Sukwika, T. and Firmansyah, I. (2020). Pemetaan dan strategi kebijakan: dampak kerusakan tanah untuk produksi biomasa di kota depok. *Jurnal Pendidikan Geografi Kajian Teori Dan Praktek Dalam Bidang Pendidikan Dan Ilmu Geografi*, 25(2), 114-127. <https://doi.org/10.17977/um017v25i22020p114>
- Sulistyorini, I., Edwin, M., & Imanuddin, I. (2020). Estimasi stok karbon tanah organik pada mangrove di teluk kaba dan muara teluk pandan taman nasional kutai. *Agrifor*, 19(2), 293. <https://doi.org/10.31293/af.v19i2.4771>
- Talakua, S. (2020). Pengaruh faktor penggunaan lahan terhadap degradasi lahan akibat erosi pada hutan primer dan kebun campuran di kecamatan kairatu kabupaten seram bagian barat propinsi maluku. *Agrologia*, 9(2). <https://doi.org/10.30598/ajibt.v9i2.1164>
- Talakua, S. and Osok, R. (2018). Efek penggunaan lahan terhadap degradasi tanah pada kebun campuran di kecamatan kairatu kabupaten seram bagian barat propinsi maluku. *Agrologia*, 7(1). <https://doi.org/10.30598/a.v7i1.352>

- Utomo, E., Bakri, M., & Syarif, I. (2023). Identifikasi dan klasifikasi kerusakan jalan menggunakan teknologi uav – quadcopters dengan parameter perubahan tinggi penerbangan. *Borneo Engineering Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 1-14. <https://doi.org/10.35334/be.v1i1.3429>
- Wang, L. (2022). Menakar solusi kebijakan pengendalian banjir di indonesia. *Policy Brief Pertanian Kelautan Dan Biosains Tropika*, 4(4). <https://doi.org/10.29244/agro-maritim.040411>
- Wati, S., Fitri, A., Kartika, D., Wulansari, A., & Safitri, E. (2022). Gis land suitability to increasing agricultural production for the agriculture supply chain: a systematic literature review. *Ijconsist Journals*, 3(2), 13-18. <https://doi.org/10.33005/ijconsist.v3i2.67>
- Wahyunto dan Ai Dariah, 2014. Degradasi Lahan di Indonesia: Kondisi Existing, Karakteristik, dan Penyeragaman Definisi Mendukung Gerakan Menuju Satu Peta Jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 8 No. 2, Desember 2014; 81-93.
- Wahyuningrum, N. and Putra, P. (2019). Degraded land analyses of brantas river basin to support land rehabilitation. *Jurnal Penelitian Kehutanan Wallacea*, 8(2), 135. <https://doi.org/10.18330/jwallacea.2019.vol8iss2pp135-145>
- Yanti, D., Mandang, T., Purwanto, M., & Solahudin, M. (2020). Pengaruh pengolahan tanah dan penambahan jerami terhadap kebutuhan air penyiapan lahan padi sawah. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 7(3), 185-192. <https://doi.org/10.19028/jtep.07.3.185-192>
- Ziadat, F. and Ay, T. (2013). Effect of rainfall intensity, slope, land use and antecedent soil moisture on soil erosion in an arid environment. *Land Degradation and Development*, 24(6), 582-590. <https://doi.org/10.1002/ldr.2239>

BAB 8

EROSI DAN KONSERVASI LAHAN

Oleh Efrinda Ari Ayuningtyas

8.1 Permasalahan Erosi Global

Tanah merupakan salah satu sumberdaya yang sifatnya terbatas, tetapi sangat penting untuk pertumbuhan tanaman, fungsinya untuk penyerapan karbon dan nutrien, penyaring bahan kontaminan, hingga peningkatan keberagaman biodiversitas dan penjagaan stabilitas iklim global. Pada kenyataannya, kondisi tanah global cenderung mengalami degradasi (Montanarella et.al., 2016). Degradasi tanah secara teoritis disebabkan oleh erosi dan gerak massa batuan seperti longsor. Adapun jenis erosi yang paling banyak menyumbang degradasi lahan adalah erosi bertipe *rill erosion* dan *gully erosion* (Panagos et.al., 2019). Kedua jenis erosi inilah yang secara nyata menggambarkan tingginya pengelupasan tanah dan sedimentasi di bagian hilir dan badan sungai. Dampak yang ditimbulkan adalah penurunan kualitas air sungai hingga penurunan estetika bentanglahan dan produktivitas pertanian. Sartori et.al (2019) dalam penelitiannya menambahkan bahwa degradasi lahan secara global berdampak negatif terhadap stabilitas ekonomi khususnya pada aspek penyediaan pangan hingga mencapai kerugian sebesar 8-40 miliar USD dan mengalami penurunan stok bahan pangan hingga 33,7 juta ton serta 48 miliar kubik stok air bersih. Meskipun perhitungan ini masih menggunakan perkiraan erosi berdasarkan pendekatan USLE tanpa mempertimbangkan *gully erosion*, tetapi dapat diamati sebagai

gambaran krusialnya kejadian erosi di permukaan bumi (Alencar et.al., 2020).

Dalam perkembangan secara global terkait isu permasalahan lingkungan, erosi adalah topik yang sangat krusial dan urgensinya tinggi untuk segera ditindaklanjuti di akhir abad ke 21 (Borrelli et.al., 2017). Wilayah yang paling rawan mengalami erosi dan degradasi lahan adalah wilayah tropis dan sub-tropis, termasuk Indonesia. Dalam lingkup skala yang lebih detil dan bersifat lokal, maka kondisi bentuklahan dengan topografi yang berbukit tentu potensi erosinya semakin besar. Kontribusi *gully erosion* tentu berpengaruh besar terhadap besar total kehilangan tanah. Bahkan jika *gully erosion* ini banyak terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS) yang didominasi oleh penggunaan lahan pertanian. Hal ini selaras dengan penelitian Gao et.al (2013) bahwa *gully erosion* dapat berkontribusi hingga 80% dari total kehilangan tanah. Lebih lanjut Borrelli et.al (2020) memprediksi kejadian erosi tanah secara global akan masif meningkat hingga mencapai 30% - 66% dari tahun 2015 sampai 2070. Prediksi ini mencapai total kehilangan tanah sebesar 28 miliar meter kubik apabila pola tanam pertanian tidak memperhatikan kaidah konservasi. Berdasarkan gambaran tersebut, maka erosi tanah secara global merupakan isu permasalahan lingkungan yang pelik dan membutuhkan perhatian lebih untuk dicarikan solusi agar dapat menekan dampak yang diakibatkan.

Seperti telah dijelaskan secara global pada *Global Assessment of Human Induced Soil Degradation* (GLASOD) oleh Oldeman et.al. (1991) dan dikonfirmasi oleh *FAO Report on the Status of the World's Soil Resources* bahwa erosi merupakan faktor penyebab utama terjadinya degradasi lahan, baik di skala global maupun lokal dan regional. Pada laporan yang sama disebutkan pula bahwa kejadian erosi di skala global mampu menghilangkan lapisan tanah permukaan hingga 12-15

ton/ha/tahun (Den et.al., 2003) dan nilai estimasi ini ekuivalen dengan laju perkembangan tanah setebal 1 mm per tahun secara pedogenesis. Dengan kata lain, laju pembentukan tanah jauh lebih lambat dibandingkan laju kehilangan tanah akibat erosi. Tentu peningkatan laju erosi di permukaan bumi dipicu dan dipercepat oleh adanya aktivitas antropogenik yaitu manusia selaku penerima manfaat dari kekayaan sumberdaya lahan. Semakin tinggi laju pertumbuhan penduduk berimplikasi pada tingginya permintaan akan kebutuhan hidup yang tentu berdampak pada pembukaan lahan dan alih fungsi lahan dalam upaya pemenuhannya. Seiring waktu, tanah tidak dapat lagi dikatakan sebagai sumberdaya alam yang dapat diperbarui, tetapi menjadi salah satu sumberdaya alam yang harus dilestarikan karena waktu dan proses pembentukannya yang melibatkan beberapa generasi. Dengan demikian, sebagai langkah untuk mempertahankan kelestarian alam, perlu adanya kajian, telaah, dan riset-riset terkini dalam perhitungan dan perkiraan laju erosi agar segera dapat ditangani lebih serius. Tentu saja dalam konteks ini memerlukan beberapa data dan informasi penting terkait dengan batuan induk, bentuklahan, penggunaan lahan dan vegetasi penutup lahan, kemiringan lereng, curah hujan dan iklim yang seluruhnya dapat dikaji lebih mendalam secara spasiotemporal.

8.2 Dampak Erosi

Erosi tanah permukaan berdampak pada kehilangan horison A atau lapisan tanah atas baik oleh aliran permukaan maupun terbawa angin. Tentu saja material yang dapat cepat hilang akibat dua tenaga tersebut adalah tanah bertekstur halus seperti lempung dan debu. Padahal telah diketahui bahwa tekstur tanah halus lebih bersifat menjerap material lain seperti unsur hara, sehingga dengan adanya erosi yang besar

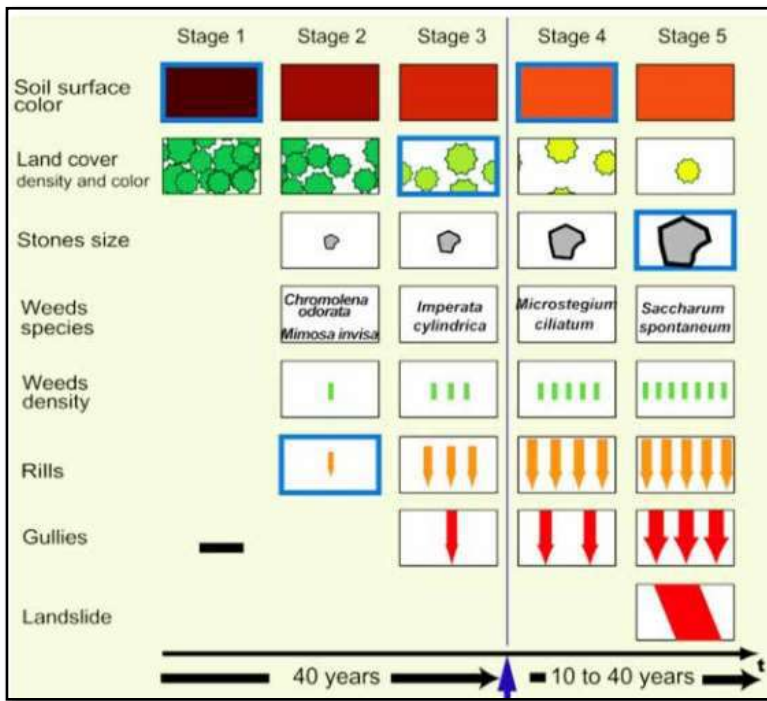
mengakibatkan unsur hara menghilang dan produktivitas tanaman berkurang.

Dampak sekunder dari erosi muncul pada saat horison A hilang, maka horison di bawahnya seperti horison B akan tersingkap ke permukaan yang kondisinya lebih kaya akan kandungan lempung. Akibatnya adalah muncul permasalahan pengolahan tanah dimana tanah lempung yang mendominasi horison B lebih sulit diolah seperti lebih sulit untuk dicangkul. Tanah yang kaya kandungan lempung memiliki batas optimal untuk diolah, jika kondisinya terlalu kering, maka tanah tersebut menjadi sangat keras dan memerlukan energi lebih untuk mengolahnya, sedangkan ketika tanah tersebut dalam kondisi basah, maka tanah berlempung akan sangat lengket dan lembek.

Dampak erosi akan berlanjut ketika horison B/C ikut tererosi. Sejumlah besar fragmen kasar dalam tanah akan menyebabkan tanah sulit diolah dan dicangkul. Kondisi akan semakin parah apabila tekstur halus sudah hilang sepenuhnya dari agregat tanah, sehingga tanah yang tersisa akibat erosi tidak dapat lagi ditanami jenis tanaman dan pepohonan apapun. Lebih lanjut, dengan adanya penurunan solum tanah, erosi ini mengakibatkan penurunan volume akar dan cadangan airtanah. Sebagai hasil akhirnya, erosi mengurangi fungsi dara tanah dan nilai lahan secara besar-besaran.

Dampak erosi dapat lebih nyata diamati dan diukur pada aspek pertanian. Lestrelin et.al. (2012) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa indikator awal terjadinya degradasi lahan yang kaitannya dengan pengolahan tanah adalah perubahan warna tanah yang semakin cerah. Ini merefleksikan adanya reduksi bahan organik dalam tanah akibat erosi. Selain itu, dapat pula teramati di lapangan adanya fragmen kasar permukaan tanah termasuk juga horison B/C, munculnya erosi alur (*rill erosion*) dan erosi parit (*gully erosion*) bahkan tidak sedikit telah

terjadi gerak massa batuan seperti longsor. Dampak terhadap tanaman yang dapat dilihat adalah warna kekuningan pada daun sebagai akibat defisiensi Nitrogen dalam tanah. Sebagaimana terlihat pada Gambar 8.1 berikut, tampak bahwa seiring berjalannya waktu, erosi tanah diindikasikan oleh perubahan warna tanah yang semakin terang, kerapatan penutup lahan yang semakin rendah, fragmen kasar dan batuan yang tersingkap ke permukaan semakin besar, hingga peningkatan intensitas erosi lembar dan erosi parit.



Gambar 8. 1. Tahapan degradasi lahan di DAS Houay Pano, Laos Utara, dari kondisi awal 40 tahun yang lalu
(Sumber : Lestrelin et.al., 2012)

8.3 Jenis-jenis Erosi dan Tahapannya

Secara umum, proses erosi di muka bumi dapat terjadi melalui tahap pelapukan batuan (*weathering*), penghancuran partikel tanah (*detachment*), pengangkutan (*transportation*), dan pengendapan (*sedimentation or deposition*).

1. Erosi percik (*splash erosion* atau *splash detachment*)

Proses penghancuran partikel tanah pada dasarnya disebabkan oleh hantaman energi kinetik dari air hujan yang jatuh ke permukaan bumi. Partikel tanah yang mengalami penghancuran tersebut selanjutnya akan ditransportasikan melalui droplet yaitu percikan air hujan yang memantul dari permukaan tanah, dimana partikel pasir halus adalah yang terjauh terlempar dari tempat asalnya (Gambar 8.2). Pada daerah dengan bertopografi kasar, jarak akan semakin jauh ke bagian hilir, bahkan dengan tanpa adanya limpasan permukaan (*runoff*), percikan air hujan akan menyebabkan hilangnya tanah lebih besar di kawasan hulu daripada di kawasan hilir.



Gambar 8. 2. *Splash Erosion*

Sumber : <https://www.q-files.com/geography/environment/soil-erosion>

Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi intensitas erosi percik adalah (1) tekstur tanah, semakin halus tekstur tanah, maka semakin rentan mengalami *detachment*; (2) energi kinetik air hujan yang tergantung pada intensitas dan durasi hujan; (3) perlindungan tanah berupa penutup lahan seperti vegetasi, mulsa, dan seresah; serta (4) sudut kemiringan lereng, dimana kehilangan tanah akan lebih sedikit pada lereng yang curam dibandingkan dengan lereng landai karena energi kinetik semakin rendah pada sudut kosinus yang semakin kecil atau lancip yang diindikasikan oleh kemiringan lereng curam. Dengan kata lain, percikan maksimum akan terjadi pada lereng landai bahkan datar apalagi didominasi oleh material bertekstur halus. Hasil bentukan dari erosi percik disebut sebagai pedestal yang menyerupai tiang-tiang alur (Gambar 8.3). Dengan ditemukannya fenomena pedestal di suatu wilayah menggambarkan adanya indikator awal akan terjadi erosi di wilayah tersebut.

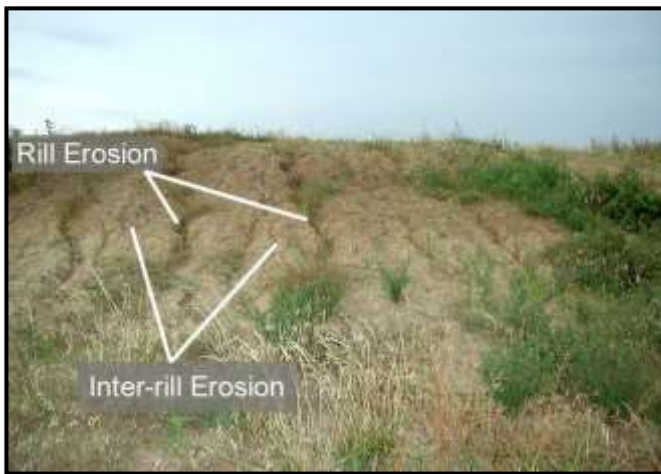


Gambar 8. 3. Pedestal Hasil Erosi Percik

Sumber : <https://salishmagazine.org/soil-pedestals/>

2. Erosi lembar (*sheet erosion*)

Limpasan permukaan (*runoff*) akan terjadi ketika pori tanah lapisan atas mulai jenuh dengan air hujan dan melebihi kapasitas infiltrasi, jika durasi hujan berlangsung lama. Akibatnya adalah terbentuk genangan air pada cekungan permukaan tanah. Awal mula terjadi erosi lembar terjadi di sini yaitu ketika pada permukaan tanah mulai terjadi pergerakan transportasi material atau partikel tanah yang telah melampaui proses *detachment*. Sesaat setelah erosi percik mencapai batas optimum, tanah yang tidak terbentuk pedestal akan jenuh oleh air hujan dan mulai membentuk konsentrasi aliran kecil (*micro-rill*). berukuran kurang dari 1 cm (Gambar 8.4). Dengan kosakata global, istilah *sheet erosion* dikenal juga dengan *inter-rill erosion*.



Gambar 8.4. *Sheet Erosion* atau *Inter-Rill Erosion*

Sumber : <https://passel2.unl.edu/view/lesson/5653c03d7cee/18>

3. Erosi alur (*rill erosion*)

Limpasan permukaan memiliki kecepatan beragam tergantung pada kekasaran permukaan dan topografi. Jika kecepatan limpasan mencapai batas ambang tertentu, maka akan mampu untuk mengikis permukaan tanah paling atas dan melepaskannya dari ikatan agregat tanah hingga terbentuk partikel tanah lepas. Partikel inilah yang kemudian paling mudah untuk diangkut oleh limpasan melalui proses transportasi menuju tempat di bawahnya yang lebih datar dan stabil. Kecepatan limpasan ini tergantung pada volume limpasan yang dipengaruhi oleh tingkat permeabilitas tanah.

Jika dipahami lebih mendalam, maka laju limpasan juga dipengaruhi oleh kekuatan agregat tanah yaitu mudah tidaknya tanah tersebut untuk mengalami *detachment* dan erosi. Kekuatan agregat tanah salah satunya adalah karena adanya kandungan bahan organik yang tinggi. Semakin rendah kandungan organik dalam tanah, maka semakin mudah tanah tersebut mengalami erosi. Konsep inilah yang kemudian dikenal dengan erodibilitas tanah atau tingkat kemudahan tanah untuk tererosi (Ayuningtyas, 2023). Kondisi demikian menggambarkan proses terjadinya rill erosion atau erosi alur. Oleh karena itu, dalam perhitungan erosi menggunakan metode konvensional berbasis USLE, maka erosi alur dan erosi parit yang paling banyak berkontribusi terhadap perhitungan tersebut dan berpengaruh besar terhadap degradasi lahan (Gambar 8.5).



Gambar 8. 5. *Rill Erosion*

Sumber : <https://passel2.unl.edu/view/lesson/5653c03d7cee/18>

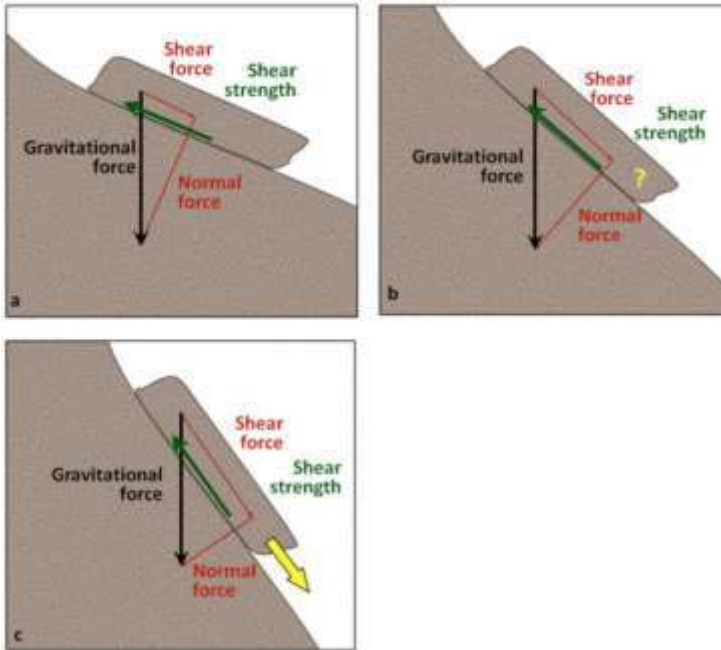
4. Erosi parit (*gully erosion*)

Erosi parit merupakan kelanjutan proses dari erosi alur dimana dimensinya semakin melebar, memanjang, dan mendalam. Rerata dimensi erosi parit adalah dengan kedalaman lebih dari 50 cm dan lebar lebih dari 30 cm. Pada dasarnya tidak ada perbedaan secara konseptual antara erosi parit dan erosi alur, tetapi jika diamati dari sudut pandang pertanian, maka erosi alur dapat dikurangi dengan pengelolaan tanah yang lebih baik, meskipun efektivitas metode ini tetap perlu pembiayaan yang tidak murah dan teknologi yang modern. Dampak negatif yang diakibatkan oleh erosi parit juga tentunya jauh lebih besar yaitu terjadinya degradasi lahan dan penurunan hasil panen yang drastis.

8.4 Gerak Massa Batuan (*mass wasting*)

Mass wasting secara definisi adalah gambaran sebuah kegagalan lereng yang melibatkan pergerakan batuan dan massa material tanah di atasnya sebagai respon terhadap gaya gravitasi. Istilah *mass wasting* banyak disamakan dengan stabilitas lereng, tetapi ada juga yang mengistilahkan dengan tanah longsor. Beragamnya istilah tersebut pada dasarnya adalah memudahkan dalam memahami konsep pergerakan massa tanah dan batuan, tergantung pada konteks dan tujuan analisis, misalnya ahli geologi dan teknik sipil dapat juga memberikan pandangan yang sama dengan istilah yang berbeda.

Proses gerak massa batuan dapat dilihat sebagai salah satu proses geologi akibat tektonisme yang mengakibatkan adanya pengangkatan batuan ke permukaan bumi, sehingga muncul ketidakseimbangan lereng. Batuan induk (litologi) yang tersingkap ke permukaan bumi akan lebih masif berinteraksi terhadap iklim dan cuaca, sehingga proses pelapukan batuan semakin intensif. Hasilnya adalah berupa tanah sebagai bentukan dari proses pedogenesis (pembentukan tanah). Dengan adanya perbedaan lereng yang dinyatakan dalam bentuk sudut kemiringan lereng, maka proses gerakan massa batuan ini mengikutsertakan tanah juga sebagai bahan lapukan batuan. Dengan kata lain, erosi yang melibatkan media air dan dipicu oleh gaya gravitasi akibat kegagalan lereng itulah yang umum dikenal dengan longsor atau gerak massa batuan (*mass wasting*). Pada Gambar 8.6 menjelaskan bahwa pada (a) gaya gesernya jauh lebih kecil daripada kuat geser, sehingga balok atau blok batuan lebih stabil, sedangkan pada (b) gaya geser dan kuat geser hampir sama, sehingga balok bisa tidak bergerak atau hanya sedikit pergerakan. Adapun pada (c) gaya geser secara substansial lebih besar dari kekuatan geser, sehingga balok sangat mungkin bergerak.



Gambar 8. 6. Perbedaan komponen geser dan normal dari gaya gravitasi pada lereng dengan kecuraman yang berbeda

Penting untuk mengklasifikasikan kegagalan lereng agar dapat memahami penyebabnya dan mempelajari cara mengurangi dampaknya. Tiga kriteria yang digunakan untuk yang digunakan untuk menggambarkan kegagalan lereng adalah:

- ❖ Material: Jenis material yang gagal (biasanya berupa batuan dasar atau sedimen yang tidak terkonsolidasi)
- ❖ Gerakan: Bagaimana material bergerak (jatuh, meluncur, atau mengalir).
- ❖ Laju: Kecepatan pergerakan material.

Tiga jenis gerakan yang terkait dengan kegagalan lereng adalah:

- Jatuh: Material jatuh secara vertikal atau hampir vertikal.
- Geser: Material bergerak sebagai massa kohesif di sepanjang permukaan yang miring.
- Aliran: Material bergerak mengalir seperti fluida.

Aplikasi konsep gerak massa batuan tidak sesederhana itu. Banyak kegagalan lereng yang melibatkan dua dari jenis gerakan ini, beberapa melibatkan ketiganya, dan dalam banyak kasus, itu tidak mudah untuk mengetahui bagaimana material bergerak. Namun demikian, gerak massa batuan adalah bentuk perpindahan material seperti halnya erosi yang mengakibatkan kerugian dan kerusakan yang lebih lanjut dikenal dengan degradasi lahan. Secara lebih detil penelitian tentang degradasi lahan lebih banyak menarik perhatian karena potensinya yang besar terutama di kawasan tropis seperti Indonesia.

❖ Jatuhan batu (*rockfall*)

Jatuhan batu terjadi ketika batuan menjadi terlepas akibat perubahan energi potensial yang terlalu besar untuk dipertahankan. Energi potensial ini berubah menjadi energi kinetik yang menyebabkan pecahan batuan jatuh karena kehilangan keseimbangan dan pengaruh dari gaya gravitasi. Akibatnya batuan jatuh, menggelinding, atau memantul ke bawah bukit dan menimbulkan kerusakan di bawah dan sekitarnya.

❖ Longsor mendatar (*landslide*)

Longsor mendatar lebih dikenal dengan istilah “longsor” saja dimana terjadi perpindahan massa tanah dan batuan dalam jumlah besar. Material batuan ini sudah lapuk dan meluncur menuruni lereng bukit atau sisi gunung

terutama karena erosi yang berhubungan dengan gravitasi. Longsor terjadi dengan sangat cepat dan bergerak dengan kecepatan dan daya rusak yang luar biasa, sering kali memindahkan atau menutupi semua yang dilaluinya.

❖ Aliran debris (*debrisflow*)

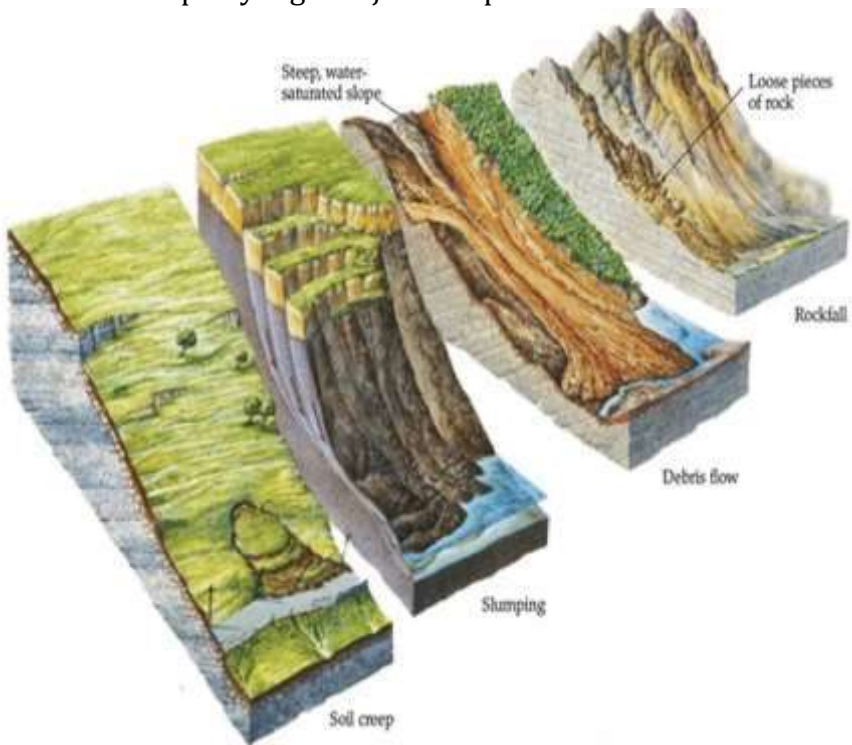
Aliran debris adalah peristiwa perpindahan massa tanah dan batuan yang terbentuk ketika hujan lebat menghasilkan limpasan dalam jumlah besar yang mengangkut tanah terkikis, sedimen, dan sisa-sisa tanaman ke lereng bawah dan berakhir menyebar ke dasar lembah. Aliran debris dan aliran lumpur dapat membawa partikel dengan berbagai ukuran mulai dari lempung (lumpur) hingga puing-puing dan batu-batu besar; namun, aliran debris terutama terdiri dari material berbutir kasar dan aliran lumpur terutama terdiri dari material berbutir halus.

❖ Longsor rotasional (*slump*)

Slump adalah bentuk perpindahan massa tanah dan batuan yang cukup umum. *Slump* terjadi ketika material tergelincir ke bawah lereng di sepanjang permukaan yang melengkung dan pecah. Keberadaan bangunan dan tanah terbuka mengakibatkan air hujan cepat meresap dan mengisi pori tanah, sehingga beban tanah semakin berat. Bidang gelincir pada proses *slump* adalah lengkungan. Jika beban pada bidang gelincir ini melebihi batas lengkung, maka tanah akan pecah dan terjadilah *slump*. Jika *slump* terjadi sebagai massa material yang terkonsolidasi dalam jumlah besar, koheren, sedangkan jika terjadi sebagai massa material yang tidak terkonsolidasi atau sedimen, maka disebut inkoheren.

❖ Rayapan tanah (*soil creep*)

Rayapan tanah adalah proses perpindahan yang paling lambat gerakannya serta melibatkan material tanah, batuan dasar, dan fragmen batuan yang lapuk ke bawah secara bertahap. Biasanya, seluruh lereng perlahan-lahan merayap menuruni lereng sebagai satu kesatuan yang utuh. Proses rayapan terjadi pada tingkat tertentu di hampir setiap lereng bukit karena gravitasi. Proses merayap terlihat dari batang pohon yang membengkok atau memanjang yang menyesuaikan diri dengan pergerakan tanah, regolit, dan material lapuk yang menjadi tempat mereka berakar.



Gambar 8. 7. Berbagai jenis gerak massa batuan (*mass wasting*)

8.5 Prinsip Konservasi Lahan

1. Pengolahan Tanah

Lahan adalah suatu ekosistem di muka bumi yang meliputi sumberdaya alam di dalamnya seperti air, tanah, dan udara yang membentuk menjadi sistem dengan fungsi tertentu yang sifatnya dinamis. Tanah menjadi unsur vital dalam masalah lingkungan hidup, sebagai aset penting yang membentuk landasan keberlangsungan bagi kemanusiaan dan lingkungan (James, 1995). Fungsi-fungsi vital tanah dalam ekosistem mencakup: a) media pertumbuhan keanekaragaman dan produktivitas hayati, b) sebagai saluran dan tampungan sumberdaya air, c) sebagai media penyangga dan penyimpan bahan-bahan organik dan anorganik, termasuk proses penguraian oleh organisme, d) sebagai media penyimpanan dan pendaur unsur hara di dalam biosfir bumi, dan e) sebagai lahan penopang bangunan dan infrastruktur penunjang aktivitas sosio-ekonomi dan pemukiman penduduk.

Tanah di permukaan bumi merupakan komponen lingkungan hidup yang sebenarnya termasuk pada kategori sumberdaya alam yang sulit diperbarui karena waktu yang dibutuhkan untuk membentuk tanah setebal 1 cm membutuhkan ratusan tahun. Keberadaan sumberdaya tanah mutlak untuk dipertahankan kualitasnya dan dijaga serta dilindungi dari degradasi yang merugikan. Berdasarkan pemahaman tersebut, maka konservasi tanah merupakan sebuah keharusan agar lingkungan hidup tetap lestari (Idjudin, 2006). Dengan konsep serupa maka dapat dipahami bahwa konservasi tanah pada dasarnya bertujuan untuk mengupayakan stabilitas kualitas tanah karena berpengaruh besar terhadap kapasitas lahan untuk menghasilkan produksi biomassa seperti pertanian, perkebunan, dan kehutanan.

Aneka budidaya perkebunan dan kehutanan umumnya menempati area dengan topografi kasar seperti perbukitan dan pegunungan. Kondisi topografi inilah yang dinilai sebagai faktor pembatas dalam evaluasi kesesuaian lahan karena menyangkut kondisi biofisik dengan lereng relatif curam dan curah hujan lebih tinggi akibat pengaruh hujan orografis. Kondisi tersebut berkorelasi positif terhadap potensi erosi dan longsor yang semakin besar di kawasan perbukitan dan pegunungan. Apabila pola pengelolaan lahan dari aspek perkebunan tidak memperhatikan kaidah konservasi, maka dapat menimbulkan kerusakan biofisik berupa degradasi lahan yang berdampak sekunder pada penurunan kesuburan tanah dan ketersediaan air.

Hal serupa terjadi pada Dataran Tinggi Dieng di Jawa Tengah yang memiliki potensi lahan kritis sebanyak 55.520 Ha sebagai dampak dari perubahan fungsi kawasan dari yang semestinya adalah daerah tangkapan air menjadi lahan kentang hampir di semua area lereng bawah hingga puncak bukit (Indrayati, 2013). Permasalahan utama dalam penelitian tersebut adalah pada aspek antropogenik yaitu petani sebagai pelaku utama pengolahan tanah dimana mereka tidak menggunakan teknik pergiliran tanaman, sehingga erosi lembar dan erosi alur banyak ditemukan di kawasan ini. Akibatnya adalah tanah semakin menipis, unsur hara dalam tanah semakin berkurang karena larut dalam transportasi hasil erosi. Dampak sekunder adalah penggunaan pupuk yang semakin tinggi karena kesuburan alami dalam tanah berkurang, sehingga keuntungan hasil produksi kentang juga semakin mengecil. Hal ini dipengaruhi oleh minimnya pemahaman tentang konservasi tanah di lingkup petani kentang. Pola tanah yang berlangsung turun temurun tidak mengalami perubahan masih jauh dari kata konservasi, seperti halnya konservasi vegetatif menggunakan pepohonan dan konservasi mekanik

seperti pembuatan terasering juga tidak dijadikan sebagai kebiasaan, padahal metode tersebut dinilai berpengaruh terhadap penurunan laju erosi tanah. Longsor dan erosi sebagai faktor penyebab degradasi lahan suatu kawasan terutama di pegunungan, tidak hanya disebabkan oleh karakteristik alami biofisiknya (lahan dan iklim), tetapi juga teknik dan pola budidaya pertanian yang berlaku di kawasan tersebut Departemen Pertanian, 2006).

Pengolahan tanah dapat dideskripsikan sebagai upaya memanipulasi tanah secara mekanik yang bertujuan untuk menggemburkan tanah melalui pencampuran dengan bahan lain seperti seresah dan sisa tanaman dengan tanah, sehingga cukup baik untuk pertumbuhan akar tanaman (Gill and Vanden Berg, 1967). Lebih lanjut dijelaskan oleh Notohadiprawiro (2000) bahwa pengolahan tanah adalah teknik mengupayakan penggemburan tanah sehingga memudahkan jalur efektif tumbuh akar dan pori-pori tanah untuk mengantarkan air dan udara. Hal yang perlu dipahami pada konteks ini adalah bahwa setiap upaya pengolahan tanah akan berdampak pada perubahan sifat fisiokimia tanah dan dipengaruhi oleh alat pengolahan tanah yang digunakan seperti cangkul dan traktor. Semakin sering tanah diolah, maka tanah semakin mudah tersingkap ke permukaan dan berinteraksi dengan udara dan cuaca, sehingga akan lebih rentan terhadap dispersi agregat tanah, iluviasi tanah, hingga berlanjut ke erosi tanah, bahkan tidak menutup kemungkinan akan terjadi pemadatan tanah.

2. Kepekaan tanah terhadap erosi (erodibilitas) dan kerawanan longsor

Pemahaman mengenai tingkat kepekaan tanah terhadap erosi atau lebih dikenal dengan istilah erodibilitas berkaitan erat dengan faktor-faktor yang

mempengaruhinya. Beberapa parameter yang dapat diukur dan dianalisis erodibilitasnya meliputi tekstur tanah, struktur tanah, kandungan bahan organik, dan laju permeabilitas. Parameter tersebut merupakan sifat fisiokimia tanah yang masing-masing memiliki peran dalam kepekaannya terhadap pengikisan tanah. Tanah dengan kandungan bahan organik semakin besar, akan memiliki agregat tanah yang semakin kuat, sehingga lebih tahan terhadap erosi. Bahan organik ini mampu menyerap dan menahan air, sehingga perkembangan struktur tanah lebih sempurna dan berpengaruh pula terhadap kesuburan tanah. Selain itu, faktor tekstur tanah juga berperan dalam erodibilitas dimana semakin tinggi kandungan debu dan pasir halus, maka semakin tinggi erodibilitasnya (Ayuningtyas, dkk., 2018). Lebih lanjut menurut Arsyad (2010), tanah dengan kandungan pasir dan debu yang dominan menggambarkan perkembangan tanah masih belum lanjut dibandingkan tanah berlempung, sehingga ikatan antar partikel tanah juga relatif rendah dan mudah terdispersi oleh media air.

Seperti dijelaskan pada sub bab sebelumnya bahwa longsor atau gerak massa batuan (*mass wasting*) lebih disebabkan oleh gaya gravitasi. Dalam hal ini maka parameter sifat fisiokimia tanah penyebab erodibilitas juga menjadi pemicu terjadinya longsor, tetapi faktor kegagalan lereng lebih mendominasi. Untuk itu, dalam penilaian kerawanan longsor perlu untuk mengidentifikasi kemiringan lereng. Selain itu, faktor penutup lahan dan jenis tanah juga perlu untuk dianalisis lebih detail di kawasan rawan longsor.

Hal lain yang perlu untuk dipahami adalah kondisi fisik DAS yang juga berpengaruh terhadap kerawanan lahan terhadap erosi dan longsor. Bagian hulu DAS didominasi oleh topografi kasar yang berbukit dan bergunung, sehingga

potensi luncuran tanah dan batuan akan lebih besar daripada bagian tengah dan hilir. Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah selain juga menggerakkan partikel tanah menuju bawah akibat gravitasi, juga meresap ke dalam tanah hingga bagian gelincir dan menambah beban tanah untuk meluncur ke bawah. Kondisi ini semakin parah apabila penutup lahan berupa vegetasi alami tidak lagi rapat akibat penggundulan hutan. Akar pepohonan yang berfungsi secara alami mengikat air dalam pori tanah, menjadi tidak optimal, sehingga potensi kerawanan longsor semakin masif. Padahal, kawasan hulu DAS semestinya menjadi kawasan resapan air untuk pemenuhan kebutuhan di seluruh DAS. Berbeda halnya dengan bagian tengah DAS yang mulai terjadi perubahan lereng dan penggunaan lahan. Kerapatan hutan secara alami mulai berkurang karena aktivitas manusia mulai ditemukan di bagian ini. Aktivitas perkebunan dan budidaya pertanian sudah mulai beragam di bagian ini. Minimnya pengelolaan lahan budidaya yang justru lebih mengarah pada teknik yang tidak ramah lingkungan, akan meningkatkan potensi erosi dan longsor. Sebagai contoh, daerah tengah yang kerawanan longsornya kecil, perlu dilakukan teknik pengelolaan melalui perbesaran area resapan air untuk memperkecil aliran permukaan. Sebaliknya apabila kawasan tersebut rawan longsor, maka aliran permukaan dari air hujan harus segera dialirkan, sehingga tidak sempat terinfiltrasi ke bawah dan menjenuhkan tanah, tetapi juga tidak memperbesar laju erosi. Bagian hilir DAS adalah kawasan dataran landai di mana air yang banyak ditampung di hulu dan tengah DAS akan keluar di bagian hilir dalam bentuk sumber air yang tertampung dalam badan air seperti sungai, waduk/danau yang dapat dimanfaatkan oleh manusia sebagai sumber irigasi dan kebutuhan domestik, pembangkit listrik dan zona drainase. Keutuhan fungsi DAS perlu diperhatikan sebagai

bentuk stabilisasi fungsi kawasan. Tingginya erosi dan longsor dalam satu DAS mengindikasikan adanya degradasi lahan dalam DAS tersebut yang kajian selanjutnya perlu dipertimbangkan upaya pengelolaan DAS berkelanjutan agar terus berfungsi sebagaimana mestinya.

Jenis tanah juga memiliki karakter khas yang potensial terhadap erosi dan longsor. Wilayah bergunung dengan jenis tanah berpasir (Psamments dan Regosol), cenderung lebih besar potensinya untuk tererosi dan mengalami longsor. Tanah tipis, dangkal, dan berbatu seperti Litosols dan Entisols karena perkembangan tanah tidak lanjut serta tanah dangkal berkapur seperti Mollisols dan Renzina akan lebih potensial terjadi longsor. Semakin kecil kelerengan seperti di wilayah yang berundak dan bergelombang dengan jenis tanah Vertisols atau tanah berkembang lanjut dan tanah Ultisols, akan banyak didominasi oleh tanah berlempung tinggi (monmorilonit), sehingga potensi erosi dan longsor semakin berkurang.

3. Pengendalian Erosi dan Longsor

Pemahaman tentang kajian erosi dan longsor secara spasial melalui kondisi biofisik sangat membantu dalam menganalisis tingkat kerawannya. Wilayah dengan tingkat kerawanan yang tinggi, baik untuk erosi maupun longsor, maka sebaiknya dibebaskan dari aktivitas antropogenik seperti pertanian, permukiman, hingga pariwisata. Wilayah ini harus menjadi kawasan asri yang murni konservasi. Penerapan teknik pengendalian erosi dan longsor diarahkan ke kawasan yang terlanjut terbuka dan dialihfungsikan menjadi non vegetatif. Kawasan yang masuk pada kategori rawan longsor, tetapi masih dalam kondisi bervegetasi alami dan permanen, harus didelineasi sebagai kawasan yang dipertahankan dan dilarang untuk

dialihfungsikan. Contohnya adalah hutan lindung dan cagar alam. Teknik pengendalian erosi dan longsor dapat dilakukan dengan pendekatan teknis/mekanik atau vegetatif, tergantung pada kondisi biofisik dan tingkat keparahan dampak erosi dan longsor yang ditimbulkan.

Teknik pengendalian erosi dan longsor diselaraskan dengan konsep pengelolaan DAS (Tabel 8.1). Pengendalian vegetatif secara prinsip adalah meningkatkan kapasitas akar untuk mengikat air dalam tanah dan mengurangi beban pori tanah dari kejenuhan air. Teknik pengendalian erosi dan longsor dapat dibedakan menjadi dua yaitu (1) vegetatif, teknik yang menggunakan prinsip penanaman pohon guna mencegah akumulasi air berlebih pada bidang luncur dan (2) mekanik, teknik yang disesuaikan dengan kondisi topografi atau lereng suatu wilayah dan dapat ditempuh dengan beberapa cara seperti pembuatan saluran drainase, terasering atau teras bangku, dan pembuatan bronjong untuk menahan tebing dari longsoran.

Teknik pengendalian dengan vegetatif mengupayakan optimalisasi penghijauan dan reboisasi tanah terbuka dengan penanaman pohon berakar kuat dan dalam hingga mencapai bidang gelincir, sehingga agregat tanah tetap terjaga kekuatannya serta mengurangi genangan air berlebih di permukaan tanah. Beberapa jenis tanaman yang direkomendasikan seperti sonokeling, kayu manis, kemiri, cengkeh, petai, jengkol, alpukat, dan kakao. Adapun teknik pengendalian dengan mekanik pada dasarnya juga bertujuan untuk meminimalkan genangan air di permukaan tanah, tetapi melibatkan teknik yang dapat mengubah bentuk lereng. Saluran drainase yang dibangun untuk mengurangi laju infiltrasi dan perkolasi, sehingga beban tanah akibat kejenuhan air hujan dapat dikurangi sebagai pemicu terjadinya longsor. Saluran teras di lahan pertanian

di area berbukit dapat dikategorikan sebagai teknik saluran drainase.

Hal lain yang tidak dapat dihindari adalah adanya pembangunan infratraktur jalan di area berbukit yang kadang-kadang dilakukan dengan memotong bukit atau bangkan membuka lereng, sehingga berpotensi tanah akan tersingkap dan mudah jenuh air. Pembuatan bangunan penahan longsor dapat meminimalkan potensi luncuran tanah. Jika kondisi tersebut berada di kawasan dengan potensi longsor relatif rendah, penggunaan bambu dan batang kayu masih dapat memperkecil laju gerakan tanah. Akan tetapi, apabila berada di kawasan dengan potensi rawan longsor yang relatif tinggi, maka pembuatan bronjong dengan tumpukan batu-batu yang ditutup dengan jaring kawat akan lebih kuat menahan tanah pada tebing yang terbuka.

Tabel 8. 1. Tindakan Pengendalian Erosi dan Longsor di DAS

Bagian DAS	Tindakan Pengendalian
Puncak perbukitan dan pegunungan	1. Mengidentifikasi permukaan tanah yang muncul retak dan mengisinya dengan tanah untuk menutup lubang rekahan 2. Membuat saluran drainase agar air hujan yang jatuh tidak cepat menjenuhkan tanah dan menghindari timbulnya genangan 3. Menebang pohon berumur tua yang tumbuh di tepi tebing/jurang untuk menghindari longsor akibat beban tanah yang berlebih
Lereng atas pegunungan	1. Pembuatan terasering pada lereng yang menjadi bidang luncur 2. Membuat saluran drainase untuk mengurangi genangan air 3. Membuat bronjong semi permanen dari bahan kayu atau ranting model sederhana di sepanjang singkapan tanah agar tidak mengalami longsor

Bagian DAS	Tindakan Pengendalian
	4. Menanam pohon terutama di lereng terbuka
Zona timbunan longsor dan kaki lereng perbukitan	1. Membuat bronjong permanen dari bahan batu dan semen atau beton di sepanjang singkapan tanah atau lereng terbuka untuk mengurangi potensi longsor 2. Menanam pohon berakar kuat untuk menahan longsor, jika lerenge >15% diutamakan tanaman tahunan dengan sistem agroforestri atau wanatani.

Sumber : Departemen Pertanian (2006) dengan modifikasi

4. Mekanisme Konservasi Lahan pada Sistem Usaha Tani

Pemahaman mengenai proses pembentukan tanah yang membutuhkan waktu lama untuk dapat menghasilkan ketebalan tanah satu inchi yaitu selama 300 tahun lebih, maka konsep konservasi lahan adalah penting untuk diterapkan terutama di kawasan berlereng yang rawan erosi dan longsor. Olah tanah konservasi atau conservation tillage merupakan alternatif untuk menyiapkan lahan sebagai langkah pengolahan tanah yang tetap berupaya menjaga stabilitas produktivitas lahan. Namun demikian, tidak sedikit juga hasil penelitian yang menyebutkan bahwa tindakan konservasi pada lahan pertanian justru menyebabkan terjadinya penurunan hasil tanaman (Swan et.al., 1991). Penelitian lain juga memperlihatkan adanya kaitan antara konservasi tanah yang diberlakukan justru tidak mempengaruhi hasil tanaman (Rao and Dao, 1991, dalam Rachman, dkk., 2004).

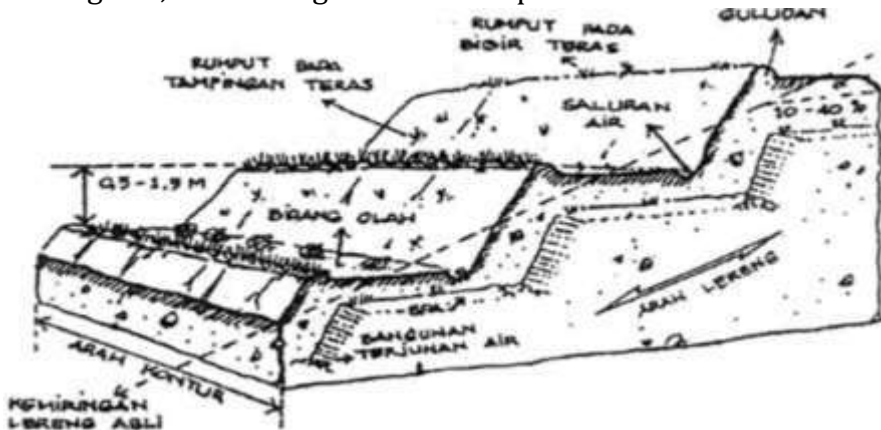
Beberapa faktor yang mungkin menjadi penyebabnya antara lain curah hujan dan tekstur tanah. Wilayah dengan curah hujan cenderung rendah (kering), pengolahan tanah berbasis konservasi umumnya memberikan dampak positif pada peningkatan hasil produksi tanaman pertanian. Hasil

yang sama dapat ditemukan pada wilayah dengan kondisi fisik tanahnya yang dominan bertekstur lempung. Perbedaan kondisi fisiografis antar wilayah menjadi pertimbangan dalam penentuan tipe konservasi tanah yang akan diterapkan. Lebih lanjut dalam penelitian Jambak, dkk. (2017) menjelaskan bahwa terdapat perbedaan pula antara pengolahan tanah konservasi akan menciptakan kualitas tanah yang lebih baik dibandingkan pada pengolahan tanah intensif yang diolah terus-menerus hingga 15 tahun. Keberhasilan olah tanah konservasi (OTK) antara lain disebabkan oleh adanya pemberian bahan organik dari sebaran mulsa ke dalam tanah selain fungsinya sebagai penghambat laju tumbuh gulma tanaman.

Teknik konservasi tanah hampir sama dengan teknik pengendalian erosi dan longsor yaitu meliputi vegetatif dan mekanik. Tabel 8.2 memperlihatkan pemilihan teknik konservasi tanah didasarkan pada aspek kemiringan lereng, kedalaman solum tanah, dan erodibilitas tanah (kepekaan tanah terhadap erosi). Perlu diperhatikan bahwa teknik teras bangku (TB) tidak cocok diterapkan pada area dengan solum tanah tipis dan kemiringan lereng terjal ($>45\%$) karena membutuhkan biaya yang lebih besar dan lebih sulit konstruksinya dibandingkan teknik konservasi lainnya. Dengan demikian, untuk kawasan hulu yang umumnya bergunung dan berlereng terjal disarankan untuk tidak menerapkan teras bangku. Wilayah dengan solum tanah dangkal/tipis dapat diterapkan konservasi berupa teras guludan, budidaya lorong, dan pagar hidup yang tetap perlu dilengkapi dengan pohon berakar kuat seperti rumput dan tanaman tahunan untuk memperkuat lereng.

Teras bangku dikenal juga dengan istilah teras tangga yang pembuatannya dengan cara memotong lereng dan membentuk undakan seperti anak tangga. Teras bangku memberikan cukup banyak manfaat bagi usahatani seperti

(1) mengurangi laju aliran permukaan, (2) meningkatkan lajur infiltrasi, dan (3) mempermudah pengolahan tanah karena kadar air dalam tanah meningkat. Pada umumnya, teras bangku diterapkan pada lahan sawah tadah hujan, tegalan, dan berbagai contoh terapan wanatani.



Gambar 8. 8. Penerapan Teras Bangku

Pembuatan teras bangku dapat dibagi menjadi beberapa model antara lain (1) mendatar/horisontal; (2) miring ke dalam; dan (3) miring ke luar. Pada teras bangku mendatar tidak membentuk sudut. Pada teras bangku miring ke dalam memiliki sudut kemiringan beberapa derajat ke arah berlawanan dari arah lereng, sedangkan pada teras bangku miring ke luar arah kemiringannya searah dengan lereng. Teras bangku miring ke dalam membutuhkan biaya lebih mahal dibandingkan teras bangku lainnya karena harus dilakukan penggalian bidang olah tanah. Selain itu, teras bangku miring ke dalam umumnya diterapkan pada tanah yang mempunyai permeabilitas yang relatif rendah, sehingga air yang jatuh tidak segera terinfiltrasi ke bawah dan tidak mengalir keluar dari talud yang dibangun. Berbeda halnya untuk kawasan dengan

tingkat kerawanan longsor yang tinggi, maka teras bangku miring ke luar lebih efektif karena bertujuan untuk mengendalikan aliran permukaan dan infiltrasi secara bersamaan.

Tingkat efektivitas dari teras bangku akan meningkat apabila dilengkapi dengan penanaman pohon berakar kuat seperti *leguminosae*. Tanaman rumput meskipun tidak memiliki batang kokoh, tetapi memiliki akar yang kuat mengikat agregat tanah. Kedua tanaman tersebut cocok untuk ditanam bersamaan dengan pembuatan teras bangku. Penanamannya terletak pada ujung bibir teras atau lereng, sehingga mengurangi laju hancuran tanah akibat energi kinetik hujan. Modifikasi teras bangku untuk daerah berbatu dan kering seperti perbukitan karst dapat dilakukan dengan model penyusunan batuan yang bertujuan sama dengan teras bangku pada umumnya (Gambar 8.8).

Tabel 8. 2. Teknik Konservasi Tanah pada Ragam Kondisi Biofisik

Lereng (%)	Kedalaman solum (cm)/erodibilitas						Rekomendasi proporsi tanaman (%)	
	> 90 cm		40-90 cm		< 40 cm			
	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi	Rendah	Tinggi	Semusim	Tahunan
15-25	TB, BL,	TB, BL,	TB, BL,	TG, BL,	TG, BL,	TG, BL,	Maks 50	Min 50
	PH, SP,	PH, SP,	PH, SP,	PH, SP,	PH, SP,	PH, SP,		
	PT, RR,	PT, RR,	PT, RR,	PT, RR,	PT, RR,	PT, RR,		
	ST	ST	ST	ST	ST	ST		
25-40	TB, BL,	TG, BL,	TG, BL,	TG, BL,	TG, BL,	TI, RR,	Maks 25	Min 75
	PH, PT	PH, PT	PH, PT	PH, PT	PH, PT	BL, PH,		
						PT		
> 40*	TI, TK	TI, TK,	TI, TK,	TI, TK,	TI, TK,	TI, TK,	0	100

Sumber : Departemen Pertanian (2006)

Keterangan :

* Tanah erodibilitas tinggi (Ultisol, Entisol, Vertisol, Alfisol) pada kemiringan lereng maksimal 65%, sedangkan untuk tanah yang erodibilitasnya rendah masih diperbolehkan hingga kemiringan lereng 100%.

Simbol :

TB = Teras bangku; BL = Budidaya, TG = Teras guludan; TI = Teras Individu; RR = Rorak; TK = Teras kebun, PH = pagar hidup; ST = Strip rumput / tanaman liar; SP = Silvipastura; PT = Tanaman penutup tanah



Gambar 8. 9. Contoh Teras Bangku Berbatu di Gunungkidul, DIY

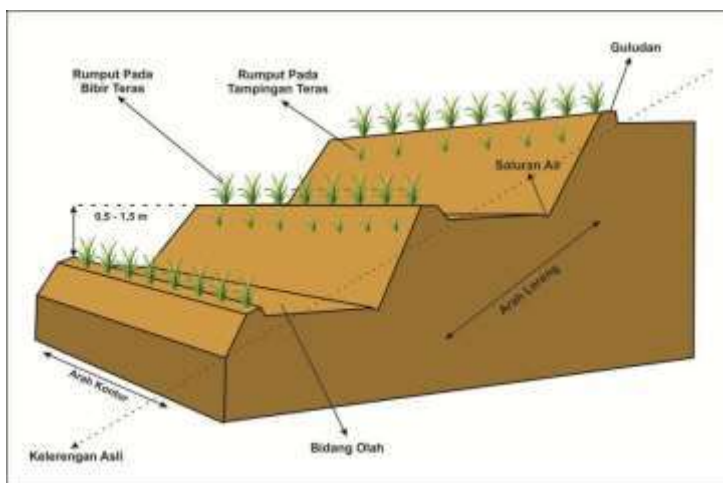
Sumber : <https://javlec.org/javlec-menghijaukan-batuan-karst-gunungkidul/>

Beberapa pertimbangan sebelum pembuatan teras bangku antara lain : (1) teras bangku dianjurkan untuk daerah dengan kemiringan 10-40%, semakin miring ($>40\%$) maka lebar tanah akan semakin sempit; (2) tidak disarankan untuk solum tanah yang dangkal ($<40\text{cm}$); (3) tidak tepat diterapkan di lahan pertanian yang digarap dengan mesin pertanian; (4) tidak dianjurkan untuk lahan dengan tanah yang kaya kandungan besi dan alumunium; serta (5) tidak cocok diterapkan untuk daerah dengan frekuensi dan tingkat kerawanan longsor sangat tinggi.

Bentuk konservasi selanjutnya adalah teras guludan yaitu guludan tanah yang dibuat dan dilengkapi dengan saluran air di bagian belakangnya. Teras guludan memiliki fungsi sama dengan teras bangku yaitu mengurangi laju aliran permukaan dan meningkatkan laju infiltrasi tanah (Gambar 8.9). Pembuatan saluran air ditujukan untuk mengalirkan air yang tertahan di permukaan tanah pada

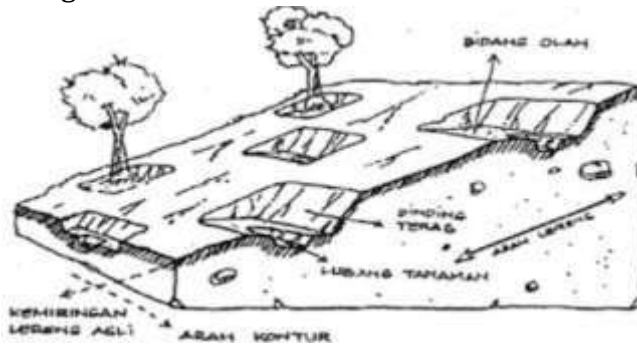
saat hujan turun menuju saluran pembuangan air. Pembuatan teras guludan tentu diiringi dengan pembuangan tanah. Sebagai wujud kompensasi atas kehilangan bidang tanah tersebut, sekaligus untuk meningkatkan efektivitas teras guludan, maka pada bidang teras ditanami tanaman ekonomis. Beberapa contoh rekomendasi jenis tanaman antara lain kelor, katuk, cabai rawit, kemangi, dan pepaya jepang.

Beberapa hal perlu untuk dipertimbangkan dalam pembuatan teras guludan adalah sebagai berikut : (1) teras guludan lebih tepat diterapkan di lahan dengan kemiringan lereng 10-40%, lebih dari itu akan semakin tidak efektif karena pengaruh gravitasi dan tebal solum tanah; (2) lahan dengan laju permeabilitas yang tinggi dapat dimodifikasi dengan teras guludan yang miring terhadap kontur dengan tujuan agar air tidak segera terinfiltrasi ke dalam tanah yang dapat mengakibatkan beban tanah semakin besar, sehingga dapat dialirkan ke luar areal pertanian.

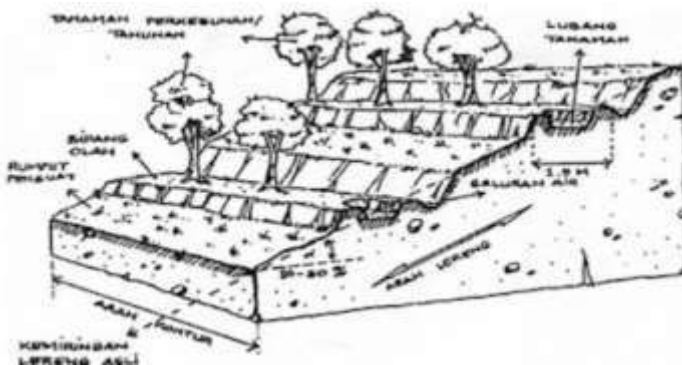


Gambar 8. 10. Penerapan Teras Guludan

Teras individu merupakan jenis teras yang diterapkan pada setiap satu individu tanaman yang ditanam. Adapun jenis tanaman yang dimaksud adalah jenis tanaman tahunan seperti perkebunan di dataran tinggi. Fungsi dari teras individu juga sama seperti teras pada umumnya. Sedikit berbeda dengan teras kebun yang diterapkan pada sekelompok tanaman tahunan di lahan perkebunan (Gambar 8.11). Teras kebun dibuat berdasarkan interval jarak tanam. Teras kebun selain sebagai teknik konservasi lahan juga dimanfaatkan sebagai media jalan bagi pengelola kebun agar tidak merusak tanaman.



(a)

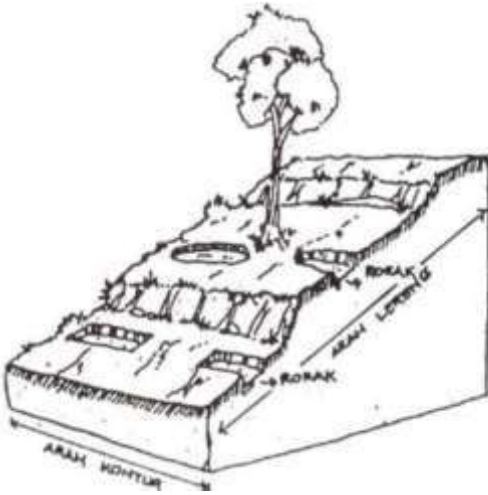


(b)

Gambar 8. 11. Penerapan Teras Individu (a) dan Teras Kebun (b)

Teknik konservasi lainnya adalah rorak yang berwujud tampungan atau resapan air yang dapat dibangun dan diletakkan pada bidang olah tanah atau saluran air (Gambar 8.12). Pembuatan rorak juga berfungsi untuk menampung sedimen hasil erosi tanah dari bagian atasnya, sehingga tidak melarutkan tanah secara keseluruhan. Untuk kawasan beriklim kering, rorak dibangun untuk menampung air hujan yang jatuh ke lahan pertanian. Rorak yang dibangun perlu untuk dipelihara karena dalam kurun waktu tertentu, lubang rorak akan terisi oleh seresah dan sampah dedaunan yang kemudian akan mengurangi efektivitas fungsi rorak itu sendiri. Seresah daun yang memenuhi lubang rorak dapat diangkut keluar dan menjadi humus bagi tanaman atau jika berupa sampah plastik maka dapat dibuang karena tidak dapat diurai secara organik.

Pembuatan rorak disesuaikan dengan kapasitas air dan sedimen yang akan ditampung. Menurut Departemen Pertanian (2006), dimensi rorak dapat beraneka ragam mulai dari lebar berukuran 50 cm, kedalaman 60 cm, dan panjang sampai 200 cm. Panjang rorak tersebut juga disesuaikan dengan panjang lereng. Jarak interval antar rorak dapat berkisar antara 100-150 cm. Hasil penelitian dari Pratiwi dan Andi (2013) menjelaskan bahwa rorak dapat secara efektif memberikan pertumbuhan lebih baik bagi tanaman daripada yang tidak menggunakan rorak. Selain itu, semakin rapat jarak antar rorak, maka akan semakin kecil aliran permukaan, laju erosi, dan kehilangan tanah, sehingga kebutuhan hara dan air bagi tanaman relatif semakin baik dan berdampak positif bagi produktivitas tanaman.



Gambar 8. 12. Penerapan Rorak

Sumber : <https://www.asdar.id/pengertian-terasering/>

DAFTAR PUSTAKA

- Alencar P.H.L., de Araújo J.C., dos Santos Teixeira A., 2020. Physically based model for gully simulation: Application to the Brazilian semiarid region. *Hydrology and Earth System Sciences* 24(8): 4239–4255. DOI [10.5194/hess-24-4239-2020](https://doi.org/10.5194/hess-24-4239-2020).
- Arsyad Sitanala. 2010. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor. ISBN 979-493-003-2
- Ayuningtyas, E. A., Ilma, A. F. N., & Yudha, R. B. 2018. Pemetaan Erodibilitas Tanah Dan Korelasinya Terhadap Karakteristik Tanah Di Das Serang, Kulonprogo. *Jurnal Nasional Teknologi Terapan (JNTT)*, 2(1), 135. <https://doi.org/10.22146/jntt.39194>
- Ayuningtyas, E.A., 2023. Analisis Permeabilitas Lapisan Tanah Atas di Berbagai Satuan Lahan di SubDAS Binuang, Kalimantan Selatan. *Fruitset Sains*, Vol.11, No. 3 August 2023: pp 165-174.
- Borrelli P., Robinson D.A., Fleischer L.R., Lugato E., Ballabio C., Alewell C., Meusburger K., Modugno S., Schütt B., Ferro V., Bagarello V., Van Oost K., Montanarella L., Panagos P., 2017. An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications* 8(1): 1–13. DOI [10.1038/s41467-017-02142-7](https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7).
- Borrelli P., Robinson D.A., Panagos P., Lugato E., Yang J.E., Alewell C., Wuepper D., Montanarella L., Ballabio C., 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences* 117(36): 21994–22001. DOI [10.1073/pnas.2001403117](https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117).
- Den Biggelaar C., Lal R., Wiebe K. et al. 2003. The global impact of soil erosion on productivity: I: absolute and relative erosion-induced yield losses. *Advances in Agronomy*, vol. 81, pp. 1–48,

- Departemen Pertanian, 2006. Peraturan Menteri Pertanian Nomor: 47/Permentan/ OT.140/10/2006 Tentang Pedoman Umum Budidaya Pertanian pada Lahan Pegunungan. Badan Litbang Pertanian, Departemen Pertanian.
- Gao P., 2013. Rill and gully development processes. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Marston, R.A., Stoffel, M. (eds.), *Treatise on geomorphology*. Vol. 7, Mountain and Hillslope Geomorphology, Academic Press, San Diego, CA: 122–131. DOI [10.1016/B978-0-12-374739-6.00156-1](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00156-1).
- Gill, W.R. and G.E. Vanden Berg. 1967. Soil Dynamics in Tillage a USDA Agric. Handb. N. 316. U.S. Government Printing, Washington, DC
- Idjudin, A.A. 2006. Dampak Penerapan Teknik Konservasi di Lahan terhadap Produktivitasnya. Disertasi Doktor Sekolah Pasca Sarjana.
- Jambak, M.K.F.A., Dwi, P.T.B., dan Eni, D.W. 2017. Karakteristik Sifat Fisik Tanah pada Sistem Pengolahan Tanah Konservasi (Studi Kasus: Kebun Percobaan Cikabayan). Buletin Tanah dan Lahan, 1 (1) Januari 2017: 44-50
- Lestrelin G., Vigiak O., Pelletreau A. et al., 2012. Challenging established narratives on soil erosion and shifting cultivation in Laos. *Natural Resources Forum*, vol. 36, no. 2, pp. 63–75.
- Montanarella L., Pennock D., McKenzie N., Badraoui M., Chude V., Baptista I., Mamo T., Yemefack M., Aulakh M.S., Yagi K., Hong S.Y., Vijarnsorn P., Zhang G.-L., Arrouays D., Black H., Krasilnikov P., Sobocká J., Alegre J., Henriquez C.R., Mendonça-Santos M. de L., Taboada M., Espinosa-Victoria D., AlShankiti A., AlaviPanah S.K., Elsheikh E.A.El M., Hempel J., Arbestain M.C., Nachtergaele F., Vargas R., 2016. World's soils are under threat. *Soil* 2: 79–82. DOI [10.5194/soil-2-79-2016](https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016).

- Notohadiprawiro, T. 2000. Tanah dan Lingkungan. Pusat Studi Sumberdaya Lahan UGM
- Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombrock W.G., 1991. Global Assessment of Soil Degradation (GLASOD), World map of the status of human-induced soil degradation, ISRIC, Wageningen, the Netherlands, available at: <http://www.isric.org/projects/global-assessment-human-induced-soil-degradation-glasod>.
- Panagos P., Borrelli P., Robinson D., 2019. FAO calls for actions to reduce global soil erosion. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 25(5): 789–790. DOI [10.1007/s11027-019-09892-3](https://doi.org/10.1007/s11027-019-09892-3).
- Pratiwi dan Andi G.S. 2013. Aplikasi Teknik Konservasi Tanah dengan Sistem Rorak pada Tanaman Gmelina (Gmelina arborea Roxb.) di KHDTK Carita, Banten. *Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam* vol. 10 No. 3, Desember 2013 : 273-282
- Rachman A, Dariah A, Husen E. 2004. Olah tanah konservasi. Dalam *Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian. Hlm.189-210
- Sartori M., Philippidis G., Ferrari E., Borrelli P., Lugato E., Montanarella L., Panagos P., 2019. A linkage between the biophysical and the economic: Assessing the global market impacts of soil erosion. *Land Use Policy* 86: 299–312. DOI [10.1016/j.landusepol.2019.05.014](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.05.014).
- Swan JB, Paulson WH, Peterson AE, Higgs RL. 1991. Tillage-redise management effetcs on seedbed physical conditions corn growth andyield. p. 343. In. *Agronomy Abstract. Annual Meetings, ASA, CSSA, andSSSA, Denver Colorado, Oct. 27 – Nov. 1, 1991.*

BIODATA PENULIS



Uska Peku Jawang, S.Si., M.P

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Kristen Wira Wacana
Sumba

Penulis lahir di Anakalang Kabupaten Sumba Tengah pada tanggal 01 Januari 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Kristen Wira Wacana Sumba. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Matematika Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana Kupang dan melanjutkan S2 pada Program Studi Magister Ilmu Pertanian Fakultas Pertanian dan Bisnis Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga. Penulis menekuni bidang agroteknologi/agroekoteknologi pada sub bidang ilmu tanah.

BIODATA PENULIS



Indra Permana, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Siliwangi

Penulis lahir di Jakarta tanggal 11 Nopember 1992. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Siliwangi. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Agroteknologi dan melanjutkan S2 pada Jurusan Ilmu Tanah di Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran. Penulis menekuni penelitian di bidang kesuburan tanah dan nutrisi tanaman sejak penyusunan skripsi, tesis, bahkan hingga saat ini. Fokus topik yang diteliti yakni formulasi dan produksi pupuk multifungsi yang berperan sebagai pupuk lepas lambat sekaligus remediator logam berat pada tanah-tanah tercemar. Penulis memiliki pengalaman kerja sebagai peneliti sejak tahun 2016 hingga saat ini. Sebelum bekerja sebagai dosen, penulis merupakan peneliti di salah satu research center perkebunan kelapa sawit Sinarmas yaitu Smart Research Institute. Pengalaman yang cukup lama sebagai peneliti memberikan kontribusi dalam menyusun bahan ajar bagi para mahasiswa di fakultas pertanian Universitas Siliwangi.

BIODATA PENULIS



Halisah Suriani, S.Pd., M.Pd.

Dosen Program Studi Pendidikan Biologi
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan
Universitas Gunung Leuser Aceh

Pada tanggal 3 Januari 1989, penulis lahir di Pematangsiantar. Penulis mengajar pendidikan biologi secara tetap di Universitas Gunung Leuser Aceh Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan. Menyelesaikan studi S1 di Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Bengkulu sebelum melanjutkan studi S2 di Jurusan Pendidikan Biologi Universitas Negeri Medan. Penulis masih aktif mengajar, mempublikasikan hasil penelitian di jurnal ilmiah bidang Biologi baik pendidikan maupun non pendidikan, dan penulis juga aktif dalam menulis buku sebagai sebuah proses pengembangan diri dan amal ibadah dunia dan akhirat. Beberapa buku yang telah dipublikasikan yaitu Ilmu Pendidikan (2022), Profesi Kependidikan (2022), Anatomi Tumbuhan (2022), Ensiklopedia desa wisata & wisata alam Indonesia (2023), Belajar dan pembelajaran (2023), Model-model pembelajaran di era metaverse (2023), Ensiklopedia Tanaman Obat Indonesia (2023), *Quantitative*

Method In Various Approach (2023), dan Anatomi dan Fisiologi Tubuh Manusia (2023). Email: halisahsuriani@yahoo.com

BIODATA PENULIS

Bambang Hariyanto

Staf Peneliti Budidaya Tanaman

Penulis lahir di Jambi tahun 1978. Penulis pada awalnya adalah peneliti tetap pada Balai Penelitian Tanaman Buah Tropika Badan Litbang Pertanian Kementerian Pertanian Bidang Budidaya Tanaman dan sejak Juni 2022 menjadi peneliti di Pusat Riset Hortikultura dan Perkebunan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN). Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Agronomi di Universitas Jambi pada tahun 2002 dan S2 pada Program Agricultural Systems & Engineering di Asian Institute of Technology tahun 2019. Penulis menekuni bidang penelitian budidaya tanaman sejak tahun 2011.

BIODATA PENULIS



Ir. Edy Syafril Hayat, MP

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi
Universitas Panca Bhakti

Penulis lahir di Sambas tanggal 5 Mei 1968. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Sains dan Teknologi Universitas Panca Bhakti sejak tahun 1993 . Menyelesaikan pendidikan S1 di Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura pada tahun 1992 dan menyelesaikan S2 di Program Studi Ilmu Tanah Universitas Padjadjaran dengan Bidang Kajian Utama Kesuburan Tanah dan Gizi Tanaman pada tahun 2004. Telah melakukan beberapa penelitian terkait kesuburan tanah dan pemanfaatan bahan pembenah tanah pada lahan suboptimal sejak tahun 2014- sekarang, dengan luaran berupa buku dengan judul : **Inovasi Teknologi Biochar dan Bokashi pada Tanaman Kedelai di Tanah Suboptimal Basah Secara Berkelanjutan** (Maret, 2024), dan buku : **Biokompos Kunci Pengelolaan Lahan Suboptimal** (Maret, 2024).

BIODATA PENULIS



Efrinda Ari Ayuningtyas, S.Si., M.Sc.

Dosen Program Studi Geografi
FISIP, Universitas Lambung Mangkurat

Penulis lahir di Yogyakarta, 4 April 1990. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 Jurusan Geografi dan Ilmu Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada dan S2 pada Program Studi Magister Perencanaan dan Pengelolaan Pesisir dan Daerah Aliran Sungai (MPPDAS), Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Penulis sebelumnya meniti karir sebagai dosen tetap non PNS di Program Studi Penginderaan Jauh dan SIG, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada dari tahun 2016-2018. Hingga saat ini, penulis merupakan dosen tetap Program Studi Geografi, FISIP, Universitas Lambung Mangkurat. Adapun bidang keahlian penulis adalah Geografi Fisik dan Lingkungan dengan beberapa spesifik bidang ilmu yang diajarkan antara lain Geomorfologi, Geologi Umum, Ilmu Tanah, Erosi dan Konservasi Lahan, Ekonomi Lingkungan, Pengelolaan Dampak Lingkungan, Hidrologi, Meteorologi dan Klimatologi, Kualitas Air dan Kualitas Udara.