



KONSERVASI TANAH DAN AIR DI ERA GLOBALISASI

Tim Penulis :

- Randi Syafutra
- Nurhidayati
- Futihatu Rizkiani Azizah
- Yanieta Arbiastutie
- Yosefina Mangera
- Rahmawati Ning Utami



KONSERVASI TANAH DAN AIR DI ERA GLOBALISASI

Randi Syafutra
Nurhidayati
Futihatu Rizkiani Azizah
Yanieta Arbiastutie
Yosefina Manger
Rahmawati Ning Utami



GET PRESS INDONESIA

KONSERVASI TANAH DAN AIR DI ERA GLOBALISASI

Penulis :

Randi Syafutra
Nurhidayati
Futihatu Rizkiani Azizah
Yanieta Arbiastutie
Yosefina Mangera
Rahmawati Ning Utami

ISBN : 978-634-255-719-8

Editor : Mila Sari, M. Si.

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 Tangah Padang Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, September 2026

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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga buku berjudul *Konservasi Tanah dan Air di Era Globalisasi* ini dapat diselesaikan. Isi buku ini mencakup pembahasan tentang pengenalan tentang konservasi tanah dan air, degradasi tanah dan erosi air, manajemen tanah yang berkelanjutan, kebutuhan air untuk pertanian dan industri, restorasi ekosistem untuk konservasi tanah dan air, dan pengendalian erosi di daerah lereng. Akhir kata, semoga buku ini dapat menjadi referensi dan dapat memberikan manfaat serta inspirasi bagi semua pembaca.

Padang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL.....	vii
BAB 1 PENGENALAN TENTANG KONSERVASI TANAH DAN AIR.....	1
1.1 Dinamika dan Pemicu Degradasi Lahan di Era Globalisasi	3
1.2 Mekanisme Degradasi Lahan dan Air	5
1.2.1 Degradasi Fisik dan Tipologi Erosi Air	5
1.2.2 Degradasi Kimiawi Ekosistem.....	6
1.2.3 Perubahan Biologis dan Keanekaragaman.....	7
1.3 Epistemologi dan Prinsip Manajemen Sumber Daya Air Terpadu.....	7
1.4 Integrasi Metode Konservasi Modern	9
1.4.1 Intervensi Berbasis Vegetatif.....	9
1.4.2 Rekayasa Sipil dan Arsitektur Geoteknis Mekanis.....	10
1.4.3 Pembenh Tanah Kimiawi dan Pemanfaatan Biochar ...	11
DAFTAR PUSTAKA	13
BAB 2 DEGRADASI TANAH DAN EROSI AIR	19
2.1 Pentingnya Konservasi Tanah menurut Pandangan Islam ...	21
2.2 Definisi Degradasi Lahan, Tanah dan Erosi Air	23
2.3 Jenis Degradasi Tanah	24
2.4 Dampak Degradasi Tanah	26
2.5 Strategi dan Teknik Pemulihan Tanah Terdegradasi	28
2.6 Hubungan Degradasi Tanah dan Erosi Air	29
2.7 Proses dan Penyebab Erosi Air	30
2.7.1 Pelepasan.....	33

2.7.2 Pengangkutan	33
2.7.3 Pengendapan.....	34
2.8 Jenis Erosi Air	34
2.8.1 Erosi Percikan.....	35
2.8.2 Erosi Lembaran.....	36
2.8.3 Erosi Laminar	37
2.8.4 Erosi Alur.....	38
2.8.5 Erosi Parit.....	41
DAFTAR PUSTAKA	43
BAB 3 MANAJEMEN TANAH YANG BERKELANJUTAN	47
3.1 Konsep Dasar Manajemen Tanah Berkelanjutan	49
3.1.1 Pengertian Manajemen Tanah Berkelanjutan	49
3.2 Degradasi Tanah dan Pentingnya Manajemen Tanah Berkelanjutan	52
3.3 Prinsip Manajemen Tanah Berkelanjutan	55
3.4 Strategi dan Pendekatan Pengelolaan Tanah Berkelanjutan	61
3.4.1 Pertanian Konservasi (<i>Conservation Agriculture</i>)	61
3.4.2 Pengelolaan Bahan Organik Terpadu.....	62
3.4.3 Rotasi Tanaman dan Diversifikasi Tanaman	63
3.4.4 Penggunaan Tanaman Penutup Tanah.....	64
3.4.5 Agroforestri	65
3.4.6 Pemupukan Berimbang	66
DAFTAR PUSTAKA	68
BAB 4 KEBUTUHAN AIR UNTUK PERTANIAN DAN INDUSTRI	71
4.1 Manfaat Air.....	71
4.2 Kebutuhan Air dalam Pertanian	72
4.2.1 Kebutuhan Air dalam Pertanian.....	72

4.2.2 Kebutuhan Air dalam Pertanian	73
4.2.3 Konservasi Air dalam Pertanian	76
4.3 Kebutuhan Air dalam Industri	78
4.3.1 Permintaan Air di Sektor Industri	78
4.3.2 Manajemen Air Industri	79
4.3.3 Integrasi Pertanian dan Industri	81
4.4 Dampak Kekurangan dan Pencemaran Air	83
4.5 Strategi Perencanaan dan Keberlanjutan	83
DAFTAR PUSTAKA	86
BAB 5 RESTORASI EKOSISTEM UNTUK KONSERVASI	
TANAH DAN AIR	89
5.1 Konsep Dasar Restorasi Ekosistem	91
5.2 Degradasi Tanah dan Air sebagai Dasar Kebutuhan Restorasi	94
5.3 Prinsip Ekologi Restorasi untuk Konservasi Tanah dan Air	96
5.4 Hubungan Vegetasi, Tanah, dan Air dalam Restorasi Ekosistem	98
5.5 Pendekatan Restorasi pada Berbagai Tipe Ekosistem	101
5.6 Teknik Konservasi Tanah dan Air dalam Kerangka Restorasi Ekosistem	104
5.7 Dimensi Sosial-Ekonomi Restorasi Ekosistem	107
5.8 Indikator Keberhasilan Restorasi untuk Konservasi Tanah dan Air	108
5.9 Tantangan Restorasi Ekosistem di Indonesia	110
5.10 Strategi Implementasi Restorasi Ekosistem	112
5.11 Arah Pengembangan Restorasi Ekosistem di Era Globalisasi	114
DAFTAR PUSTAKA	117

BAB 6 PENGENDALIAN EROSI DI DAERAH LERENG	121
6.1 Pengertian, Penyebab, dan Dampak Erosi di Daerah Lereng	122
6.1.1 Pengertian Erosi Tanah di Daerah Lereng	122
6.1.2 Faktor Penyebab Erosi	124
6.1.3 Jenis-Jenis Erosi pada Lahan Miring	126
6.1.4 Dampak Erosi terhadap Lingkungan dan Pertanian	128
6.1.5 Pengaruh Globalisasi terhadap Peningkatan Degradasi Lahan	129
6.2 Metode Pengendalian Erosi di Daerah Lereng.....	130
6.2.1 Metode Vegetatif dalam Pengendalian Erosi di Daerah Lereng.....	130
6.2.2 Metode Mekanik dalam Pengendalian Erosi di Daerah Lereng.....	132
6.2.3 Metode Kimia dan Biologis dalam Konservasi Tanah.....	135
6.2.4 Pengelolaan Lahan Pertanian Berkelanjutan di Daerah Lereng	136
6.3 Konservasi Tanah dan Air di Era Globalisasi	139
6.3.1 Konsep Konservasi Tanah dan Air Modern	139
6.3.2 Pemanfaatan Teknologi dalam Pengendalian Erosi	140
6.3.3 Peran Masyarakat, Pemerintah, dan Kebijakan Lingkungan	142
6.3.4 Tantangan dan Solusi Konservasi Tanah dan Air di Era Globalisasi	144
DAFTAR PUSTAKA	146
BIODATA PENULIS	151

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Skema Sistem Panen Hujan (<i>Rainwater Harvesting</i>) yang Membedakan Aliran Tangkapan Kawasan Eksternal (<i>External Catchment</i>) Menuju Bak Penampungan, dan Pengaturan Tangkapan dalam Lahan (<i>Within-Field Catchment</i>) di Area Budi Daya.....	8
Gambar 2. 1 Jenis Degradasi Tanah (Lal, 2015)	25
Gambar 2. 2 Faktor yang Mempengaruhi Laju Erosi Air	32
Gambar 2. 3 Fundamental Proses Erosi.....	32
Gambar 2. 4 Erosi Percikan (Foto milik Dr. Lasikaamarasena; Osman, 2014)	35
Gambar 2. 5 Erosi Permukaan yang Parah Telah Mengekspos Akar Pohon di Hutan Jati. Permukaan Tanah Miring yang Terpengaruh oleh Erosi Antar Alur (Foto Milik Dr. Animesh Biswas dan USDA-NRCS; Osman, 2014) ..	37
Gambar 2. 6 Permukaan Tanah Miring yang Terpengaruh oleh Erosi Antar Alur (Foto milik USDA-NRCS; Osman, 2014)	39
Gambar 2. 7 Permukaan Tanah Miring yang Terpengaruh oleh Erosi Antar Alur (Foto milik USDA-NRCS; Osman, 2014)	41
Gambar 3. 1 Hubungan antara Manajemen Tanah Berkelanjutan dan Fungsi Tanah Serta Jasa Ekosistem (Jayaraman <i>et al.</i> , 2023)	51
Gambar 3. 2 Hubungan antara Tanah dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs) (Hou <i>et al.</i> , 2020).....	55

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Estimasi Degradasi Akibat Aktivitas Manusia menurut GLASOD	27
Tabel 5. 1 Perbedaan beberapa pendekatan pemulihan lahan dan ekosistem.....	93
Tabel 5. 2 Prinsip Restorasi Ekosistem dan Implikasinya Bagi Konservasi Tanah dan Air.....	97
Tabel 5. 3 Mekanisme Vegetasi dalam Konservasi Tanah dan Air	100
Tabel 5. 4 Pendekatan Restorasi Menurut Tipe Ekosistem	103
Tabel 5. 5 Pemilihan Teknik Konservasi Tanah dan Air Berdasarkan Kondisi Lahan.....	106
Tabel 5. 6 Indikator Pemantauan Restorasi untuk Konservasi Tanah dan Air	109
Tabel 5. 7 Tahapan Implementasi Restorasi Ekosistem.....	113

BAB 1

PENGENALAN TENTANG KONSERVASI TANAH DAN AIR

Oleh Randi Syafutra

Dalam wacana pembangunan berkelanjutan pada era globalisasi, ekosistem darat dan perairan menghadapi berbagai tantangan. Peningkatan populasi global yang diproyeksikan akan terjadi pada beberapa dekade mendatang telah meningkatkan kebutuhan akan pemenuhan ketahanan pangan (Godfray *et al.*, 2010). Permintaan nutrisi ini berimplikasi pada intensifikasi sektor pertanian, yang mendorong transformasi lanskap dan memengaruhi kondisi biofisik lingkungan. Di tengah pemenuhan kebutuhan dasar manusia dan proses adaptasi terhadap perubahan iklim, disiplin keilmuan mengenai manajemen dan konservasi tanah dan air merupakan salah satu aspek dalam pengelolaan lingkungan di masa depan (Blanco-Canqui and Lal, 2008).

Konservasi tanah dan air merupakan ilmu multidisipliner yang mengintegrasikan pendekatan dari ilmu tanah, rekayasa hidrologi, teknik pertanian, klimatologi, geologi, hingga sosiologi dan ekonomi (Hudson, 2015). Secara konseptual, upaya ini ditujukan untuk menjaga fungsi ruang ekologis. Konservasi dapat didefinisikan sebagai pendekatan sistematis yang ditujukan untuk melindungi, memulihkan, meningkatkan, serta memelihara fungsi tanah dan sistem hidrologis pada suatu lahan, yang disesuaikan dengan daya dukung serta peruntukan spesifik lahan tersebut demi

menopang pembangunan berkelanjutan (Dumanski, 2015). Oleh karena itu, kerangka pengelolaan (*management*) lahan yang terukur perlu diutamakan sebelum intervensi konservasi mekanis diterapkan, terutama dalam konteks pemulihan kawasan bentang alam yang telah terdegradasi (Blanco-Canqui and Lal, 2008). Tanpa pengelolaan lahan yang sesuai, struktur konservasi berpotensi tidak berfungsi secara optimal.

Di dalam tata kelola lingkungan di Indonesia, keseimbangan ekologis ini diartikulasikan melalui kerangka kebijakan konservasi tanah dan air. Kebijakan institusional ini menegaskan bahwa sumber daya air di wilayah negara merupakan elemen esensial yang memuat nilai penting dan mengharuskan perlindungan serta pengelolaan berkelanjutan demi kemakmuran masyarakat (Dharmawan *et al.*, 2023). Berdasarkan prinsip tata kelola tersebut, terminologi konservasi air mencakup dua pilar operasional: konservasi sumber daya air (*water resources conservation*) yang berfokus pada pelestarian kuantitas serta kualitas siklus hidrologis di daerah aliran sungai, dan konservasi penyediaan air (*water supply conservation*) yang menitikberatkan pada efisiensi distribusi, preservasi infrastruktur, dan penggunaan air permukaan tanpa mengabaikan fungsi lingkungan (Arsyad, 2010). Kedua elemen ini membentuk fondasi ketahanan air (*water resilience*) nasional yang dibutuhkan dalam menyesuaikan diri dengan perubahan pola presipitasi.

Evolusi studi keilmuan ini menunjukkan perkembangan dalam memandang ekologi tanah. Hal ini terlihat pada perjalanan organisasi seperti *Soil Conservation Society of America* (SCSA), yang pada dekade 1980-an berubah nama menjadi *Soil and Water Conservation Society* (SWCS), yang menekankan perlunya perencanaan kolaboratif antara para pemilik lahan, komunitas petani, dan pembuat kebijakan (Delgado *et al.*, 2020). Konservasi tidak hanya mencakup

pembangunan infrastruktur penahan erosi, melainkan juga memperhatikan aspek sosial ekonomi masyarakat. Tanah diposisikan sebagai salah satu penyerap karbon (*carbon sink*) yang berkontribusi dalam memitigasi perubahan iklim, serta sebagai ekosistem yang mendukung kondisi lingkungan (Lal *et al.*, 2015). Penurunan kualitas lahan dapat memengaruhi pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs), seperti berdampak pada tingkat kemiskinan, kesehatan publik, kualitas sistem akuatik akibat polutan, hingga variasi suhu lingkungan (Hou *et al.*, 2020).

1.1 Dinamika dan Pemicu Degradasi Lahan di Era Globalisasi

Sistem ekonomi pasar dan globalisasi turut memengaruhi pola geografi pertanian. Permintaan pasar internasional akan komoditas seperti kelapa sawit, karet, hingga pertambangan mineral timah sering difokuskan pada kawasan tropis dan negara berkembang yang masih terus menyempurnakan regulasi konservasinya (Pratiwi *et al.*, 2025). Transformasi ini mendorong fenomena alih fungsi lahan (*land-use change*). Konversi kawasan hutan primer atau lahan gambut menjadi area pertanian monokultur menjadikan sektor tata guna lahan sebagai salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca, setelah sektor pembakaran bahan bakar fosil (Chiriaco and Valentini, 2021; Yuan *et al.*, 2025). Fenomena ini membentuk korelasi antara pola konsumsi di tingkat global dengan kondisi lingkungan di tingkat lokal.

Mengenai alokasi lahan, muncul pendekatan antara sistem peruntukan lahan terpisah (*land sparing*) dan sistem integrasi wilayah alami dalam lahan produktif (*land sharing*) (Fischer *et al.*, 2014). Pendekatan *land sparing* menyatakan bahwa memusatkan intensifikasi pertanian pada areal yang lebih sempit dapat memberi ruang bagi pelestarian habitat

satwa. Di sisi lain, kajian atas pendekatan ini mengingatkan bahwa intensifikasi terpusat berpotensi meningkatkan penggunaan agrokimia, pemadatan tanah oleh alat berat, serta homogenisasi lanskap agrikultur (Grau *et al.*, 2013). Penggunaan pestisida dan pupuk sintetis pada sistem pertanian intensif memiliki risiko memengaruhi populasi predator alami hama, kualitas badan air, aktivitas mikroba fiksasi nitrogen, dan tingkat agrobiodiversitas (Tscharrntke *et al.*, 2012).

Intensifikasi pertanian yang dilakukan secara berlanjut tanpa penerapan rotasi atau pengelolaan sisa panen dapat memicu penurunan kualitas tanah. Diperkirakan bahwa beberapa area lahan tanaman pangan (*croplands*) global mengalami penurunan produktivitas (Chiriaco and Valentini, 2021; Yuan *et al.*, 2025). Di kawasan iklim semi-arid dan sub-Sahara Afrika, tantangan tersebut diiringi oleh fluktuasi periode hujan dan kemarau yang mendorong inisiatif kolaboratif seperti TerrAfrica untuk merespons degradasi lahan regional (UN-OHRLS, 2015). Ketersediaan air tanah (*freshwater scarcity*) juga dapat terpengaruh saat siklus hidrologis mengalami modifikasi; tanpa tutupan vegetasi dan populasi pengurai, tanah akan mengalami penurunan kapasitas infiltrasi dalam menyaring polutan dari aliran air permukaan (Chiriaco and Valentini, 2021; Yuan *et al.*, 2025).

Pertumbuhan wilayah urban juga berkontribusi terhadap perubahan luasan ruang resapan air. Pembangunan infrastruktur perkotaan sering mengonversi area resapan menjadi permukaan kedap air (*impervious surfaces*), yang mengubah pola hidrologis lokal. Dengan berkurangnya area infiltrasi, volume air presipitasi yang menjadi limpasan permukaan (*surface runoff*) menuju hilir akan bertambah, membawa sisa residu, dan memengaruhi beban muara sungai (Xing *et al.*, 2024). Hal ini menunjukkan perlunya keseimbangan antara area terbangun dan ketersediaan kawasan berbasis alam.

1.2 Mekanisme Degradasi Lahan dan Air

Pemahaman terhadap upaya pelestarian memerlukan identifikasi mengenai mekanisme degradasi. Penurunan kualitas lahan secara keilmuan diklasifikasikan berdasarkan mekanisme agennya, yang mencakup faktor fisik, kimiawi, dan biologis (Pratiwi *et al.*, 2025; Sukarman *et al.*, 2020). Ketiga proses ini sering kali saling berkaitan, membentuk siklus yang memengaruhi produktivitas lahan.

1.2.1 Degradasi Fisik dan Tipologi Erosi Air

Degradasi fisik berkaitan dengan perubahan struktur dan kepadatan tanah, seperti peningkatan densitas curah (*bulk density*), pemadatan lapisan atas, penurunan porositas, serta erosi. Erosi akibat air umumnya terjadi melalui beberapa tahap. Tahap awal dikenal sebagai erosi percik (*raindrop splash erosion*). Pada fase ini, butiran hujan menumbuk permukaan tanah yang minim tutupan vegetasi. Tumbukan ini memengaruhi stabilitas agregat tanah dan dapat melepaskan partikel yang berpotensi menyumbat pori permukaan (Suresh, 2005). Penyumbatan tersebut akan menghambat laju infiltrasi curah hujan.

Ketika kapasitas infiltrasi lahan lebih rendah dari curah hujan, sisa air akan menjadi limpasan permukaan yang mengalir menuruni lereng, yang diklasifikasikan sebagai erosi lembar (*sheet erosion*). Erosi tipe ini membawa lapisan atas (*topsoil*) yang biasanya mengandung nutrisi dan bahan organik. Jika limpasan air melewati kemiringan tertentu tanpa hambatan konservasi, aliran tersebut dapat terkonsentrasi membentuk saluran kecil yang tergolong sebagai erosi alur (*rill erosion*) maupun erosi antar-alur (*interrill erosion*) (Suresh, 2005).

Jika proses berlanjut, aliran air tersebut dapat memperdalam alur, menghasilkan erosi parit (*gully erosion*) (Suresh, 2005). Proses pemulihan akibat erosi parit umumnya membutuhkan intervensi teknis (Hudson, 2015). Di daerah iklim sabana bervegetasi jarang dengan dominasi tanah yang lebih rentan seperti alfisol, laju erosi ini membutuhkan perhatian. Dalam skala daerah aliran sungai (DAS), pergerakan air dapat memicu erosi tebing sungai (*streambank erosion*) serta pembentukan celah bawah permukaan (*tunnel erosion*) yang mengurangi stabilitas lereng (Suresh, 2005).

1.2.2 Degradasi Kimiawi Ekosistem

Erosi mekanik umumnya berjalan berdampingan dengan proses degradasi kimiawi. Erosi kimia mencakup pencucian (*leaching*) kation penyusun tanah, perubahan reaksi reduksi-oksidasi, serta interaksi presipitasi (Pratiwi *et al.*, 2025). Praktik pertanian yang mengandalkan input pupuk sintetis berbasis nitrogen dan fosfor memerlukan pengelolaan dosis. Mengingat batas serapan tanaman, sisa pupuk berpotensi terbawa limpasan menuju badan air (Xing *et al.*, 2024). Limpasan nutrisi ini dapat memicu proses eutrofikasi yang ditandai dengan pertumbuhan populasi alga. Penguraian sisa materi alga oleh bakteri akan menurunkan kadar oksigen terlarut, yang berpotensi menciptakan area minim oksigen (*dead zones*) dan memengaruhi habitat akuatik (Pratiwi *et al.*, 2025).

Perubahan kimiawi tanah juga dapat dijumpai pada area pertambangan terbuka (*open-pit mining*). Aktivitas ini membuka stratum geologis yang mengandung pirit dan sulfida ke permukaan, mempertemukannya dengan oksigen dan air. Reaksi tersebut menghasilkan fenomena drainase asam tambang (*acid mine drainage*) yang menciptakan kondisi perairan dengan pH rendah serta

memengaruhi pelarutan elemen logam berat di sekitar area tambang (Pratiwi *et al.*, 2025). Kondisi kimiawi tersebut membatasi daya dukung lahan, sehingga upaya rehabilitasi vegetatif perlu disertai penyesuaian pH dan struktur tanah.

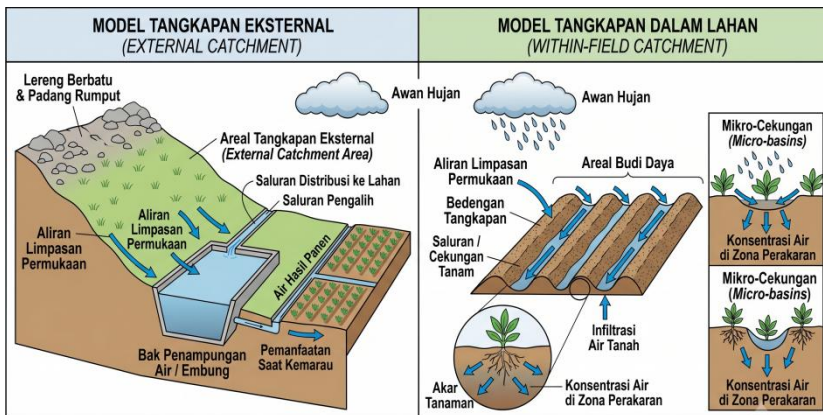
1.2.3 Perubahan Biologis dan Keanekaragaman

Kondisi biologis berperan dalam menjaga fungsi alami tanah. Perubahan struktur fisik dan keseimbangan kimiawi memengaruhi aspek biologis berupa berkurangnya biomassa organik serta keragaman mikrobioma tanah. Populasi mikroorganisme fungsional seperti bakteri denitrifikasi, fungi mikoriza, dan aktinomisetes dapat mengalami penurunan populasi, sehingga menghambat siklus hara. Alih fungsi lahan juga berpotensi mengurangi ketersediaan makrofauna, seperti semut dan cacing tanah, yang berperan dalam mendekomposisi serasah tanaman serta memelihara pori aerasi (Pratiwi *et al.*, 2025). Ketika keanekaragaman berkurang, daya dukung ekosistem dalam menyeimbangkan pertumbuhan hama secara alami akan terpengaruh (Wyckhuys *et al.*, 2024).

1.3 Epistemologi dan Prinsip Manajemen Sumber Daya Air Terpadu

Dalam mengelola limpasan air, pendekatannya dikonsepkan menggunakan prinsip hidrologi kawasan. Salah satu metode utama dalam sektor agrikultur di wilayah yang mengalami fluktuasi curah hujan adalah sistem panen hujan (*rainwater harvesting*), sebagaimana dijelaskan dalam standar *Food and Agriculture Organization* (FAO) (Critchley and Siegert, 1991). Berdasarkan ilustrasi pada Gambar 1, model ini dibedakan atas dua tipe area tangkapan: (1) model tangkapan eksternal (*external catchment*) yang mengalihkan

limpasan air dari wilayah sekitarnya (seperti bebatuan atau area rumput) menuju ke dalam penampungan untuk diresapkan kembali; serta (2) model tangkapan dalam lahan (*within-field catchment*), di mana barisan tangkapan dibuat berselingan dengan area tanam.



Gambar 1. 1 Skema Sistem Panen Hujan (*Rainwater Harvesting*) yang Membedakan Aliran Tangkapan Kawasan Eksternal (*External Catchment*) Menuju Bak Penampungan, dan Pengaturan Tangkapan dalam Lahan (*Within-Field Catchment*) di Area Budi Daya

Air hasil panen dapat dialirkan melalui saluran mikro menuju zona perakaran untuk dimanfaatkan saat ketersediaan air berkurang, sehingga menunjang resiliensi pengelolaan pertanian. Penyesuaian cuaca tidak hanya dilakukan melalui pengelolaan air, melainkan juga lewat penyesuaian jadwal tanam. Beberapa pendekatannya mencakup teknik penyemaian kering (*dry seeding*) pada awal musim hujan, serta teknik menanam dalam (*deep planting*) guna memaksimalkan kontak benih dengan kelembapan di dalam profil tanah (Hudson, 2015).

1.4 Integrasi Metode Konservasi Modern

Penerapan teknik konservasi tanah dan air dilakukan menggunakan pendekatan yang bersifat holistik, meliputi metode vegetatif, struktur geoteknis (mekanis), serta amelioran (kimiawi). Penerapan pendekatan ini juga semakin didukung oleh integrasi teknologi spasial (Suresh, 2005).

1.4.1 Intervensi Berbasis Vegetatif

Pendekatan dengan menggunakan vegetasi merupakan metode yang sering diterapkan. Peran utama kanopi (tajuk) daun adalah menahan daya energi erosi percikan hujan, sementara jaringan akar tanaman berperan menjaga porositas dan struktur agregat tanah (Wei *et al.*, 2024). Di wilayah bertopografi miring, penerapan penanaman lorong searah kontur dengan kombinasi tanaman pakan ternak (*contour farming with fodder crops*) memberikan nilai tambah agronomis. Barisan rumput tinggi atau pepohonan perdu membantu menahan kelajuan limpasan dan menangkap sedimen secara bertahap, yang berangsur-angsur membentuk teras alami (Do *et al.*, 2023).

Upaya perbaikan bahan organik dalam praktik agrikultur dilakukan dengan menggunakan tanaman penutup tanah (*cover crops*) (Poeplau and Don, 2015). Kelompok legum (Fabaceae) dianjurkan karena memiliki kemampuan bersimbiosis dengan bakteri bintil akar (*Rhizobium*). Kemitraan ini memfasilitasi fiksasi nitrogen bebas di udara menjadi senyawa nitrat yang berguna bagi ketersediaan hara tanaman utama (Pratiwi *et al.*, 2025).

Selain itu, konsep agroforestri diterapkan untuk mengintegrasikan tegakan pohon berkayu dengan tanaman pertanian semusim. Lanskap agroforestri dapat membantu mengurangi evaporasi hidrologis

permukaan, mendukung ketersediaan karbon organik, dan memberikan keragaman panen (Lin, 2010). Pada lingkungan perkotaan, koridor sabuk hijau atau hutan kota (*urban forests*) difungsikan sebagai area resapan limpasan hujan lokal dan membantu mereduksi suhu termal area sekitar (Ramyar *et al.*, 2021).

1.4.2 Rekayasa Sipil dan Arsitektur Geoteknis Mekanis

Pada lahan dengan kemiringan tertentu atau curah hujan tinggi, metode vegetatif umumnya perlu diiringi dengan pembuatan struktur bangunan konservasi mekanis. Prinsip bangunan struktural berpusat pada upaya mengurangi panjang lereng secara artifisial, mengatur kelandaian kontur lahan, dan mengurangi kelajuan air agar persentase resapan (infiltrasi) dapat dimaksimalkan (Suresh, 2005).

Implementasi teknis di lapangan sering dilakukan melalui pembuatan terasering, seperti teras bangku (*bench terrace*) serta teras Zingg (*conservation bench terraces*) yang mengatur kemiringan tebing menjadi bidang datar penanaman (Hudson, 2015; Suresh, 2005). Di wilayah lahan kering, diterapkan pembuatan guludan baris lebar (*broad bed and furrow*) dan cekungan mikro tertutup (*tied ridging*) untuk mengarahkan aliran air mendekati perakaran kultivar (Hudson, 2015). Susunan bebatuan atau saluran berumput (*vegetated waterways*) dibangun untuk mengalirkan sisa volume limpasan permukaan secara teratur guna menghindari risiko pembentukan erosi alur berlebih (Hudson, 2015; Suresh, 2005).

Di area lahan perkebunan, pembuatan lubang rorak (*silt pits*) atau parit buntu (*infiltration trenches*) dinilai fungsional. Rorak berfungsi menampung volume aliran air sementara dan mengumpulkan endapan sedimen

lumpur yang kemudian dapat dikembalikan ke area sekitar pangkal tanaman. Hasil penelitian mengindikasikan bahwa perpaduan antara teras bangku, rorak, tanaman penutup legum, serta penambahan pupuk organik dapat membantu menekan laju kehilangan tanah akibat erosi hingga persentase 60 sampai 70%, jika dibandingkan dengan pengelolaan lahan tanpa konservasi (Sukarman *et al.*, 2020). Sementara pada pekerjaan stabilisasi tebing galian, penggunaan *bioengineering* dengan pelapis geosintetik (seperti geotekstil, geocell, dan metode *hydro mulch*) menjadi salah satu upaya standar yang umum dipraktikkan (Han and Guo, 2017).

Dalam merancang spesifikasi dimensi bangunan, perencana menggunakan basis kalkulasi hidraulika. Misalnya, perhitungan penampang saluran atau dimensi rorak dikalibrasi menggunakan metode empiris (seperti *formula Cook* atau Rasional) untuk mengestimasi laju debit puncak (*peak rate of runoff*). Tujuannya agar material struktur buatan tersebut tetap berada pada tingkat kecepatan batas aman (*permissible velocity*) yang diizinkan (Suresh, 2005).

1.4.3 Pembenh Tanah Kimiawi dan Pemanfaatan Biochar

Konservasi secara kimiawi berfokus pada upaya menjaga stabilitas ikatan agregat partikel tanah. Penambahan pembenh tanah (*soil conditioner*) sintetis, seperti jenis *polyvinyl alcohol* (PVA) atau *polyacrylamide* (PAM), ditujukan untuk memfasilitasi daya rekat partikel mineral lempung sehingga agregat tanah dapat bertahan lebih lama saat terkena aliran curah hujan (Yonter, 2010). Pembenh tanah menunjang ketahanan struktur tanah (*water-stable aggregates*), mengurangi potensi dispersi lempung, dan mengatur permeabilitas dan porositas ke lapisan bawah (Hamza *et al.*, 2025).

Bagi pengguna yang membutuhkan alternatif selain material sintetis komersial, penelitian mengenai bahan organik yang stabil mengarah pada penggunaan arang hayati (*biochar*). *Biochar* merupakan materi karbon dari sisa pembakaran tak sempurna (pirolisis) menggunakan residu organik seperti sekam padi (Bushra and Remya, 2024; Raj *et al.*, 2026). Karakteristik biochar memiliki tingkat porositas tinggi dan lambat terdekomposisi, sehingga menambah luas permukaan interior matriks tanah (Afshar and Mofatteh, 2024). Aplikasi arang hayati dilaporkan dapat membantu memodifikasi kadar penahan kelembapan tanah (*water holding capacity*), meminimalkan laju pencucian hara pupuk, serta memiliki fungsi adsorpsi terhadap beberapa komponen logam pada area kegiatan rehabilitasi tambang (*phytoremediation*) (Haider *et al.*, 2022). Pada area spesifik seperti lahan rawa dan area pascatambang, penggunaan bahan pencampur seperti turunan abu batubara (FABA), material kalium humat asetat, serta pangkasan hijauan *Tithonia diversifolia* dapat membantu menyesuaikan indikator toleransi kimiawi dan kapasitas pertukaran kation (Asmarhansyah *et al.*, 2017; Panjaitan *et al.*, 2024).

DAFTAR PUSTAKA

- Afshar, M. and Mofatteh, S. (2024), "Biochar for a sustainable future: Environmentally friendly production and diverse applications", *Results in Engineering*, Vol. 23, p. 102433, doi: 10.1016/j.rineng.2024.102433.
- Arsyad, S. (2010), *Konservasi Tanah & Air*, 2nd ed., IPB Press, Bogor.
- Asmarhansyah, A., B Badayos, R., B Sanchez, P., C Sta Cruz, P. and M Florece, L. (2017), "Land suitability evaluation of abandoned tin-mining areas for agricultural development in Bangka Island, Indonesia", *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, Vol. 04 No. 04, pp. 907–918, doi: 10.15243/jdmlm.2017.044.907.
- Blanco-Canqui, H. and Lal, R. (2008), *Principles of Soil Conservation and Management*, 1st ed., Springer Netherlands, Dordrecht, doi: 10.1007/978-1-4020-8709-7.
- Bushra, B. and Remya, N. (2024), "Biochar from pyrolysis of rice husk biomass—characteristics, modification and environmental application", *Biomass Conversion and Biorefinery*, Vol. 14 No. 5, pp. 5759–5770, doi: 10.1007/s13399-020-01092-3.
- Chiriaco, M.V. and Valentini, R. (2021), "A land-based approach for climate change mitigation in the livestock sector", *Journal of Cleaner Production*, Vol. 283, p. 124622, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.124622.
- Critchley, W. and Siegert, K. (1991), *Water Harvesting: A Manual for the Design and Construction of Water Harvesting Schemes for Plant Production*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

- Delgado, J.A., Gantzer, C.J. and Sassenrath, G.F. (Eds.). (2020), *Soil and Water Conservation: A Celebration of 75 Years*, Soil and Water Conservation Society, Iowa.
- Dharmawan, I.W.S., Pratiwi, Siregar, C.A., Narendra, B.H., Undaharta, N.K.E., Sitepu, B.S., Sukmana, A., *et al.* (2023), "Implementation of soil and water conservation in Indonesia and its impacts on biodiversity, hydrology, soil erosion and microclimate", *Applied Sciences*, Vol. 13 No. 13, p. 7648, doi: 10.3390/app13137648.
- Do, V.H., La, N., Bergkvist, G., Dahlin, A.S., Mulia, R., Nguyen, V.T. and Öborn, I. (2023), "Agroforestry with contour planting of grass contributes to terrace formation and conservation of soil and nutrients on sloping land", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 345, p. 108323, doi: 10.1016/j.agee.2022.108323.
- Dumanski, J. (2015), "Evolving concepts and opportunities in soil conservation", *International Soil and Water Conservation Research*, Vol. 3 No. 1, pp. 1–14, doi: 10.1016/j.iswcr.2015.04.002.
- Fischer, J., Abson, D.J., Butsic, V., Chappell, M.J., Ekroos, J., Hanspach, J., Kuemmerle, T., *et al.* (2014), "Land sparing versus land sharing: Moving forward", *Conservation Letters*, Vol. 7 No. 3, pp. 149–157, doi: 10.1111/conl.12084.
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pretty, J., *et al.* (2010), "Food security: The challenge of feeding 9 billion people", *Science*, Vol. 327 No. 5967, pp. 812–818, doi: 10.1126/science.1185383.

- Grau, R., Kuemmerle, T. and Macchi, L. (2013), "Beyond 'land sparing versus land sharing': Environmental heterogeneity, globalization and the balance between agricultural production and nature conservation", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 5 No. 5, pp. 477–483, doi: 10.1016/j.cosust.2013.06.001.
- Haider, F.U., Wang, X., Zulfiqar, U., Farooq, M., Hussain, S., Mehmood, T., Naveed, M., *et al.* (2022), "Biochar application for remediation of organic toxic pollutants in contaminated soils; An update", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 248, p. 114322, doi: 10.1016/j.ecoenv.2022.114322.
- Hamza, A., Karčauskienė, D., Mockevičienė, I., Repšienė, R., Tahir, M.A., Manzoor, M.Z., Kousar, S., *et al.* (2025), "Soil aggregate dynamics and stability: Natural and anthropogenic drivers", *Agriculture*, Vol. 15 No. 23, p. 2500, doi: 10.3390/agriculture15232500.
- Han, J. and Guo, J. (2017), "Geosynthetics used to stabilize vegetated surfaces for environmental sustainability in civil engineering", *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, Vol. 11 No. 1, pp. 56–65, doi: 10.1007/s11709-016-0380-8.
- Hou, D., Bolan, N.S., Tsang, D.C.W., Kirkham, M.B. and O'Connor, D. (2020), "Sustainable soil use and management: An interdisciplinary and systematic approach", *Science of The Total Environment*, Vol. 729, p. 138961, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.138961.
- Hudson, N. (2015), *Soil Conservation*, 3rd ed., NIPA, doi: 10.59317/9789391383664.
- Lal, R., Negassa, W. and Lorenz, K. (2015), "Carbon sequestration in soil", *Current Opinion in Environmental Sustainability*, Vol. 15, pp. 79–86, doi: 10.1016/j.cosust.2015.09.002.

- Lin, B.B. (2010), "The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems", *Agricultural and Forest Meteorology*, Vol. 150 No. 4, pp. 510–518, doi: 10.1016/j.agrformet.2009.11.010.
- Panjaitan, R.P., Aryunis and Wiskandar, W. (2024), "Effect of biochar on soil chemical properties of tidal wetland in Jambi, Indonesia, and growth and yield of various rice varieties", *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, Vol. 12 No. 1, pp. 6899–6904, doi: 10.15243/jdmlm.2024.121.6899.
- Poeplau, C. and Don, A. (2015), "Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops – A meta-analysis", *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 200, pp. 33–41, doi: 10.1016/j.agee.2014.10.024.
- Pratiwi, Narendra, B.H., Siregar, C.A., Iskandar, Mulyanto, B., Suwardi, Suryaningtyas, D.T., *et al.* (2025), "Tin mining and post-tin mining reclamation initiatives in Indonesia: With special reference to Bangka Belitung areas", *Land*, Vol. 14 No. 10, p. 1947, doi: 10.3390/land14101947.
- Raj, R.S., Jain, S., Sharma, A.K. and Patel, A. (2026), "Biochar production from rice husk: A comparative life cycle assessment of grid, biomass, and solar-powered pyrolysis", *Energies*, Vol. 19 No. 5, p. 1344, doi: 10.3390/en19051344.
- Ramyar, R., Ackerman, A. and Johnston, D.M. (2021), "Adapting cities for climate change through urban green infrastructure planning", *Cities*, Vol. 117, p. 103316, doi: 10.1016/j.cities.2021.103316.

- Sukarman, S., Gani, R.A. and Asmarhansyah, A. (2020), "Tin mining process and its effects on soils in Bangka Belitung Islands Province, Indonesia", *SAINS TANAH - Journal of Soil Science and Agrocimatology*, Vol. 17 No. 2, p. 180, doi: 10.20961/stjssa.v17i2.37606.
- Suresh, R. (2005), *Soil and Water Conservation Engineering*, 2nd ed., Standard Publishers Distributors, New Delhi.
- Tscharntke, T., Clough, Y., Wanger, T.C., Jackson, L., Motzke, I., Perfecto, I., Vandermeer, J., *et al.* (2012), "Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification", *Biological Conservation*, Vol. 151 No. 1, pp. 53-59, doi: 10.1016/j.biocon.2012.01.068.
- UN-OHRLLS. (2015), *The Impact of Climate Change, Desertification and Land Degradation on the Development Prospects of Landlocked Developing Countries*, United Nations, New York.
- Wei, S., Zhang, K., Liu, C., Cen, Y. and Xia, J. (2024), "Effects of different vegetation components on soil erosion and response to rainfall intensity under simulated rainfall", *CATENA*, Vol. 235, p. 107652, doi: 10.1016/j.catena.2023.107652.
- Wyckhuys, K.A.G., Pozsgai, G., Ben Fekih, I., Sanchez-Garcia, F.J. and Elkahky, M. (2024), "Biodiversity loss impacts top-down regulation of insect herbivores across ecosystem boundaries", *Science of The Total Environment*, Vol. 930, p. 172807, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.172807.

- Xing, J., Sanim, B. and Gauhar, R. (2024), "Analysing the spatial patterns of agricultural intensification and its implications for land degradation and water resource management using remote sensing and GIS technologies across diverse agroecosystems", *AgBioForum*, Vol. 26 No. 1, pp. 95–113.
- Yonter, G. (2010), "Effects of polyvinylalcohol (PVA) and polyacrylamide (PAM) as soil conditioners on erosion by runoff and by splash under laboratory conditions", *Ekoloji*, Vol. 19 No. 77, pp. 35–41, doi: 10.5053/ekoloji.2010.776.
- Yuan, X., Bai, X., Zhou, Z., Luo, G., Li, J., Ran, C., Zhang, S., *et al.* (2025), "Global impacts of land use on terrestrial carbon emissions since 1850", *Science of The Total Environment*, Vol. 963, p. 178358, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.178358.

BAB 2

DEGRADASI TANAH DAN EROSI AIR

Oleh Nurhidayati

Permintaan pangan penduduk dunia sebesar 8,3 miliar pada tahun 2026, diproyeksikan meningkat menjadi 9,5 miliar pada tahun 2050, sehingga peningkatan produksi pertanian sekitar 70% mutlak dilakukan antara 2005 dan 2050. Degradasi tanah, yang ditandai dengan penurunan kualitas, barang dan jasa ekosistem, merupakan kendala utama untuk mencapai peningkatan kebutuhan produksi pertanian (Lal, 2015). Sepuluh negara terpadat di dunia telah menghadapi tren penurunan luas lahan pertanian per kapita (Gomiero, 2016). Negara-negara terpadat dan termiskin, khususnya di Asia Selatan, telah menghadapi masalah dalam memenuhi permintaan pangan untuk beberapa bahan pokok dari lahan pertanian.

Konsekuensi degradasi tanah tidak langsung ditandai semakin berkurangnya hasil pertanian karena penurunan nutrisi tanah, peningkatan frekuensi dan besarnya banjir maupun tanah longsor, penurunan produksi ternak karena penurunan kepadatan rumput yang tersedia untuk ternak yang digembala, intensifikasi badai debu dan badai pasir yang berpengaruh pada kesehatan, produktivitas lahan dan akumulasi lumpur yang lebih cepat di bendungan, yang merusak struktur, mengurangi kapasitas penyimpanan air

dan mengganggu fungsi asli, khususnya kapasitas pembangkit listrik(Delang, 2018).

Produktivitas lahan telah menurun hingga 50% karena erosi tanah dan penggurunan. Di Asia Selatan, kerugian produktivitas tahunan diperkirakan mencapai 36 juta ton setara senilai US\$5.400 juta akibat erosi air, dan US\$1.800 juta akibat erosi angin. Diperkirakan total biaya tahunan erosi dari pertanian di AS sekitar US\$44 miliar per tahun, yaitu sekitar US\$247 per hektar lahan pertanian dan padang rumput. Dalam skala global, kehilangan tahunan sebesar 75 miliar ton tanah merugikan dunia sekitar US\$400 miliar per tahun, atau sekitar US\$70 setara Rp. 1.236.676 per orang per tahun.

Hanya sekitar 3% dari permukaan tanah didunia ini yang dapat dianggap sebagai lahan utama atau Kelas I, 8% lahan lainnya berada di Kelas II dan III, 11% lahan ini harus memberi makan 8,3 miliar orang saat ini dan diproyeksi 9,8 miliar pada tahun 2050 (Hossain *et al.*, 2020). Sebagian besar peningkatan populasi ini terjadi di negara-negara berkembang, dengan peningkatan relatif (120%) dengan ekonomi paling terbelakang di dunia (Woods, 2019), dengan peningkatan pertumbuhan populasi perkotaan jauh lebih besar dibandingkan populasi pedesaan. Lebih dari 70% populasi perkotaan dunia diperkirakan akan meningkat pada tahun 2050 (PBB, 2015; Hossain *et al.*, 2020).

Tantangan bagi negara-negara berkembang yaitu perubahan dan variabilitas iklim, pasar yang tidak stabil, dan menyusutnya sumber daya lahan pertanian yang diakibatkan oleh urbanisasi dan industrialisasi. Negara-negara populasi padat dimana ekosistem beragam membutuhkan konservasi melalui perluasan pertanian ke lahan baru guna meningkatkan produksi bukanlah *pilihan*. Praktik petani mengakibatkan degradasi lahan dan kerusakan tanah serta sumber daya alam yang menjadi tumpuan produktivitas masa

depan sehingga mendesak untuk dihentikan dan membalikkan penurunan degradasi lahan dan kualitas tanah yang buruk dengan mempertimbangkan meningkatnya permintaan global akan produktivitas pertanian, perlu solusi untuk membalikkan penurunan kualitas tanah melalui pemahaman praktik pengelolaan lahan terpadu (Hossain *et al* 2020). Strategi kebijakan diperlukan untuk menanggapi masalah-masalah penting ini tanpa merusak kualitas lahan dan sumber daya alam, yaitu tanah dan air (Galvani 2007; Hossain *et al.*, 2020).

2.1 Pentingnya Konservasi Tanah menurut Pandangan Islam

Hukum konservasi tanah dalam Islam menekankan pentingnya tidak merusak tanah karena dampaknya terhadap kelangsungan hidup manusia dan alam semesta. Allah SWT memperingatkan 1400 tahun lalu dalam QS Ar-Rum: 41, yang menyatakan bahwa “*..Telah Nampak kerusakan di darat dan dilaut disebabkan perbuatan tangan manusia..*”, hal ini menegaskan bahwa manusia memiliki tanggungjawab sebagai khalifah di bumi untuk menjaga dan melestarikan tanah agar tetap subur dan produktif. Tugas manusia adalah memakmurkan bumi, sebagaimana dijelaskan dalam QS Hud: 61, yang mengandung arti “*...Dia telah menciptakan kamu dari tanah dan menjadikan kamu pemakmurnya...*”. Manusia diciptakan dari tanah (Nabi Adam AS dibuat Allah dari tanah liat), dan diberi tanggungjawab mengelola tanah agar berkelanjutan dan produktif, bukan hanya untuk dieksploitasi secara berlebihan hingga merusak, tetapi hendaknya diusahakan pengelolaan tanah menerapkan pertanian berkelanjutan. Dari sisi hukum bahwa menjaga kesuburan tanah seperti tanah warisan, sawah, kebun itu hukumnya wajib, namun merusak tanah sehingga produktivitas tanah buruk karena erosi, pencemaran dan penggundulan

hukumnya haram. Oleh karena itu jika tanah tidak produktif sebaiknya diusahakan untuk diperbaiki, menghidupkan tanah mati dengan kegiatan reboisasi, penghijauan, aplikasi BOT dan beralih menerapkan system pertanian organik yang dalam hukum dinyatakan sunnah.

Manusia dianjurkan tidak berbuat kerusakan, hal ini terdapat dalam QS Al-Qashas: 77, yang artinya *"...dan janganlah kamu berbuat kerusakan di (muka) bumi. Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan."* Tafsir Al-Qurthubi: Fasad atau kerusakan berarti semua jenis pengrusakan, termasuk penurunan kualitas tanah. Fasad dalam hal ini melakukan kegiatan pertambangan tanpa melakukan reklamasi, mengubah fungsi lahan tanpa izin, serta mengusahakan pertanian konvensional dengan menggunakan pupuk dan pestisida kimia secara berlebihan.

Menghidupkan tanah yang mati termasuk dalam kategori shadaqah jariyah. Hal ini dikuatkan dalam sebuah hadist yang mengatakan, "Barangsiapa menghidupkan tanah yang mati, maka tanah itu menjadi miliknya." (HR. Abu Dawud, At-Tirmidzi, shahih), makna hadist ini menunjukkan bahwa secara historis di zaman Rasullullah SAW, terdapat banyak tanah kering yang tidak dimiliki oleh siapa pun. Hadist ini mendorong peningkatan produktivitas lahan dengan memberikan insentif kepemilikan. Di era modern ini, mengembalikan tanah yang tidak subur dengan cara reboisasi dan menghijaukan lahan yang kritis adalah tindakan yang baik dan memiliki hak untuk dikelola. Dengan menerapkan teknologi BOT pada tanah yang keras dan sudah rusak, maka hasil dari lahan tersebut akan meningkat. Reklamasi setelah kegiatan tambang adalah bentuk tanggung jawab dari perusahaan. Di Indonesia, kepemilikan tanah diatur oleh pemerintah melalui Undang-Undang Agraria. Namun, mendapatkan pahala dari menghidupkan tanah tetap berlaku meskipun tanah tersebut bukan milik pribadi, seperti contohnya hutan negara yang direboisasi.

Pengetahuan hukum konservasi tanah dalam Islam dapat menumbuhkan kepedulian masyarakat untuk mengurangi praktik yang merusak tanah dan memperkuat perlindungan lingkungan. Rasulullah SAW berkata: “Dunia ini adalah hiasan, dan hiasan terbaik di dunia adalah wanita yang shalehah dan tanah yang subur.” (HR. An-Nasa’i). Tanah yang subur adalah aset penting yang Rasulullah bandingkan dengan istri yang shalehah. Karena tanah yang subur dapat mendukung ketahanan pangan secara terus-menerus, hal ini berdampak pada kesejahteraan umat. Diakses melalui <https://yokersane.com/hukum-konservasi-tanah-islam/>.

2.2 Definisi Degradasi Lahan, Tanah dan Erosi Air

Degradasi lahan merupakan kondisi lahan dalam suatu ekosistem tidak lagi mampu menjalankan fungsi pengaturan lingkungannya dalam menerima, menyimpan, mendaur ulang air, energi, dan nutrisi (Oldeman *et al.* 1991). Degradasi tanah merupakan kehilangan atau pengurangan yang terukur dari kemampuan tanah saat ini atau potensial untuk menghasilkan bahan tanaman dengan kuantitas dan kualitas yang diinginkan. Sehingga degradasi lahan adalah istilah yang lebih luas daripada degradasi tanah (Blaikie & Brookfield 1987; Chisholm & Dumsday 1987; Blum & Eswaran 2004).

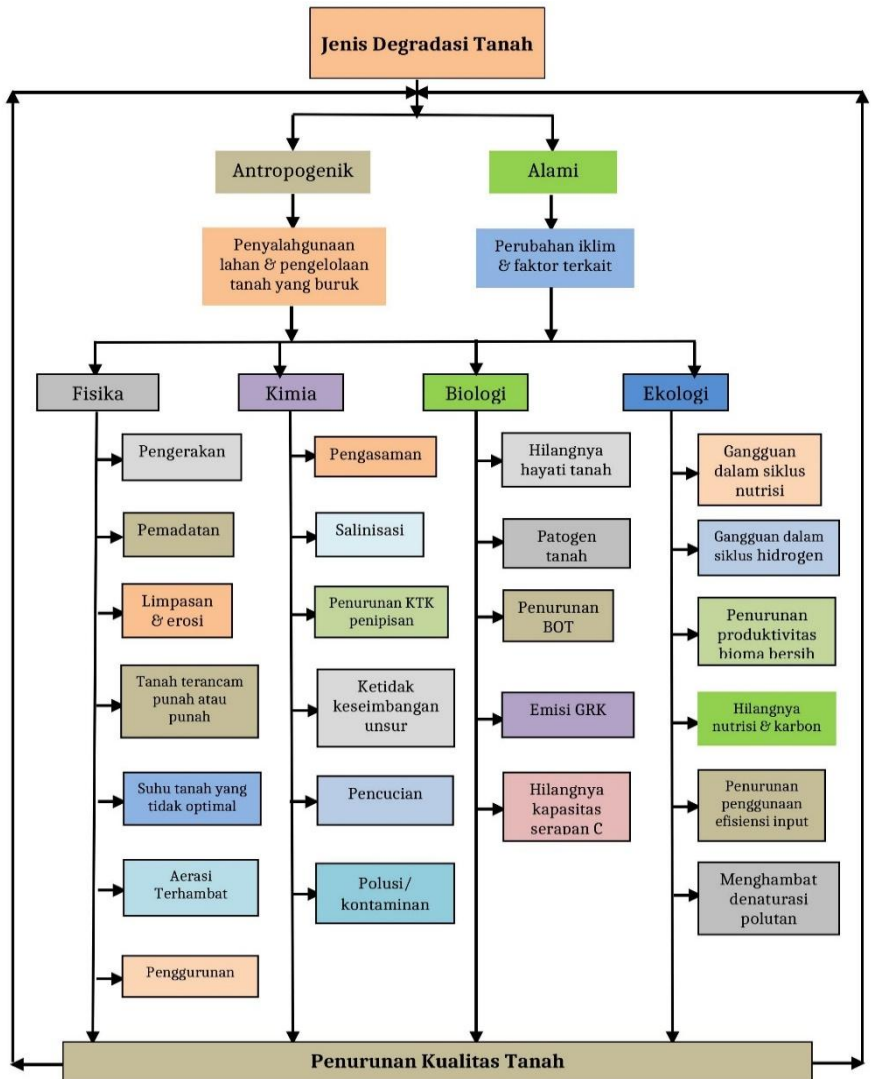
Degradasi tanah adalah proses yang menurunkan kapasitas tanah saat ini dan/atau hilangnya atau berkurangnya fungsi atau penggunaan tanah di masa depan untuk menghasilkan barang atau jasa. Degradasi tanah juga didefinisikan sebagai kehilangan atau pengurangan terukur dari kemampuan tanah saat ini atau potensial untuk menghasilkan bahan tanaman dengan kuantitas dan kualitas yang diinginkan (Bluikie dan Brookfield, 1987; Blum, 1997; Chisholm dan Dumsday, 1987).

Pada tanah yang rapuh dengan stabilitas struktur yang rendah, air limpasan dapat menyebabkan pengikisan cepat pada jurang, mengikis tanah yang berharga dan membuat lahan tersebut akhirnya tidak cocok untuk pertanian. Pendekatan GLASOD membedakan dua bentuk erosi air:

1. Kehilangan Lapisan Tanah Atas (Wt).
Bentuk erosi air ini umumnya dikenal sebagai erosi permukaan atau erosi lembaran. Kehilangan lapisan tanah atas seringkali didahului oleh pemadatan dan/atau pengerasan yang mengakibatkan penurunan kapasitas infiltrasi tanah.
2. Deformasi medan (Wd).
Meskipun total area yang terpengaruh oleh alur dan jurang jauh lebih kecil dibandingkan dengan kehilangan lapisan tanah atas, dampaknya lebih spektakuler dan lebih mudah diamati di lapangan. Pengendalian jurang aktif sulit dan restorasi hampir tidak mungkin dilakukan.

2.3 Jenis Degradasi Tanah

Degradasi tanah dideskripsikan sebagai penurunan kualitas tanah yang disertai dengan penurunan fungsi dan jasa ekosistem. Secara konseptual, terdapat empat jenis degradasi tanah: (i) fisik; (ii) kimia; (iii) biologis; dan (iv) ekologi (Gambar 1).



Gambar 2. 1 Jenis Degradasi Tanah (Lal, 2015)

Degradasi fisik tanah terjadi akibat penurunan atribut struktural termasuk total ruang pori dan kontinuitasnya, sehingga memperparah kerentanan tanah terhadap

pengerasan tanah, pemadatan, penurunan infiltrasi air, peningkatan limpasan permukaan, erosi angin dan air, fluktuasi suhu tanah yang lebih besar, dan peningkatan penggurunan.

Degradasi kimia tanah dicirikan oleh pengasaman, salinisasi, penipisan hara, penurunan kapasitas tukar kation (KTK), peningkatan toksisitas Al atau Mn, defisiensi Ca atau Mg, pelindian NO_3^- atau hara esensial tanaman lainnya, atau kontaminasi oleh limbah industri atau produk sampingan.

Degradasi biologis tanah mencerminkan menipisnya cadangan karbon organik tanah (KOT), hilangnya keanekaragaman hayati tanah, berkurangnya kapasitas serapan karbon tanah, dan meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK) dari tanah ke atmosfer. Salah satu konsekuensi terparah dari degradasi biologis tanah adalah tanah menjadi sumber bersih emisi GRK (yaitu CO_2 dan CH_4).

2.4 Dampak Degradasi Tanah

Degradasi tanah berdampak merugikan terhadap produktivitas pertanian, lingkungan, dan pengaruhnya terhadap ketahanan pangan serta kualitas hidup. Dampak degradasi lahan terhadap produktivitas disebabkan oleh penurunan kualitas lahan di lokasi terjadinya degradasi (misalnya erosi) dan di luar lokasi dimana sedimen diendapkan, selain itu juga munculnya areal lahan kritis (Tutuarima *et al.* 2021), secara fakta mempengaruhi kesejahteraan petani sebagai pengelola usaha produktivitas pertanian.

Studi Global Assessment of Human Induced Soil Degradation (GLASOD) (Tabel 1) memproyeksikan bahwa $\pm 15\%$ permukaan daratan bebas es di dunia terkait dengan semua jenis degradasi lahan. Erosi tanah yang dipercepat akibat erosi angin $\pm 28\%$ dan air $\pm 56\%$. Asia menempati

urutan pertama degradasi yang disebabkan erosi air mencapai 40,22%, erosi angin 40,51%, salinitas 69,73%, total degradasi tanah sebesar 38,03% dari skala global.

Degradasi tanah yang diakibatkan dari peristiwa erosi tanah dan pengurusan beberapa sumber menyatakan penurunan hasil panen di Afrika karena erosi tanah di masa lalu dapat berkisar antara 2 hingga 40%, dengan rata-rata kehilangan 8,2% untuk benua tersebut (Lal, 1995). Terdapat juga kerugian produktivitas yang serius (20%) akibat erosi di Asia, termasuk India, Cina, Iran, Israel, Yordania, Lebanon, Nepal, dan Pakistan (Dregne, 1992).

Tabel 2. 1 Estimasi Degradasi Akibat Aktivitas Manusia menurut GLASOD

Jenis Degradasi	Dunia	Asia	Asia Barat	Afrika	Kari-bia	Ame-rica Utara	Aus-tralia dan Asia Pasifik	Eropa
Erosi air	1094	440	84	227	169	60	83	115
Erosi angin	548	222	145	187	47	35	16	42
Kekurangan hara	135	15	6	45	72	–	+	3
Salinitas	76	53	47	15	4	–	1	4
Kontaminasi	22	2	+	+	+	–	–	19
Fisik	79	12	4	18	13	1	2	36
Lainnya	10	3	1	2	1	–	1	2
Total	1964	747	287	494	306	96	103	218

Sumber: Bai *et al.*, 2008 dalam Issaka and Ashraf, 2018.

Pemadatan tanah telah menyebabkan penurunan hasil panen sebesar 25–50% di beberapa wilayah Eropa (Eriksson *et al.* 1974) dan Amerika Utara dan antara 40 dan 90% di negara-negara Afrika Barat (Charreau 1972; Kayombo dan Lal 1994). Di Ohio, penurunan hasil panen mencapai 25%

pada jagung, 20% pada kedelai, dan 30% pada gandum selama periode 7 tahun (Lal 1996). Kerugian parah terjadi akibat erosi yang dipercepat di beberapa lahan.

Degradasi tanah paling ekstrem yaitu hilangnya multifungsi tanah secara permanen, hal ini terjadi pada perluasan wilayah perkotaan dan pinggiran kota termasuk infrastruktur lalu lintas dan transportasi (jalan raya, tempat parkir, dll.) menyebabkan penyempitan lahan pertanian dan hutan yang produktif, sehingga mengurangi produksi biomassa, penyaringan, penyangga dan transformasi, serta cadangan gen. Beberapa negara seperti Tiongkok atau negara-negara lain di Asia, Amerika Tengah, Eropa, dan Afrika, misalnya Mesir, hanya memiliki 3% lahan subur dari total wilayahnya, dan semua aglomerasi perkotaan besar berada tepat di dalam wilayah subur ini. Lahan subur telah tertutup sedemikian rupa sehingga negara tersebut tidak lagi mampu memenuhi kebutuhan pangan melalui produksi pangan, pakan ternak, dan bentuk biomassa lainnya.

2.5 Strategi dan Teknik Pemulihan Tanah Terdegradasi

Degradasi tanah dapat dibalikkan dengan konversi ke penggunaan lahan restoratif dan penerapan praktik pengelolaan yang direkomendasikan. Strategi pengendalian erosi tanah dan pemulihan tanah dan ekosistem yang terdegradasi berpotensi untuk menyimpan karbon dalam vegetasi dan tanah, serta mengurangi laju pengayaan konsentrasi atmosfer CO₂ dan gas lainnya. Strategi pemulihan tanah terdegradasi (Lal, 2015) dengan upaya meningkatkan kualitas tanah dan mengurangi resiko degradasi tanah (secara fisika, kimia, biologi dan ekologi), dijabarkan sebagai berikut :

1. Meminimalkan erosi tanah
2. Meningkatkan masukan karbon organik tanah dan N yang positif. Cadangan KOT (Karbon Organik Tanah) harus lebih ditingkatkan, minimal 10-15 gram/kg tanah.
3. Meningkatkan aktivitas dan keanekaragaman spesies biota tanah (mikro, meso, dan makro)
4. Memperbaiki struktur tanah dan total ruang pori

Teknik spesifik lokasi untuk memulihkan kualitas tanah meliputi:

1. Pertanian konservasi
2. Pengelolaan nutrisi terpadu
3. Penutup vegetasi berkelanjutan seperti mulsa residu dan tanaman penutup
4. Penggembalaan terkontrol dengan tingkat kepadatan ternak yang sesuai.

Strateginya adalah menghasilkan "lebih banyak dari lebih sedikit" dengan mengurangi kehilangan dan meningkatkan efisiensi penggunaan tanah, air, dan hara (Lal, 2015).

2.6 Hubungan Degradasi Tanah dan Erosi Air

Hubungan antara dampak erosi dan degradasi tanah terhadap kualitas air yang menunjukkan sumber polutan sebagai aktivitas antropogenik dan industri. Ini adalah sumber partikel dan material berbahaya yang berkontribusi pada kerusakan air permukaan termasuk danau. Erosi tanah di lahan pertanian merupakan ancaman serius bagi ketahanan pangan dan keberlanjutan lingkungan. Erosi menyebabkan efek di lokasi dan di luar lokasi pada lahan dan juga pada badan air sehingga mempengaruhi kualitas lahan (Issaka and Ashraf, 2017).

Erosi tanah yang dipercepat adalah proses degradasi dominan pada skala global. Rasio luas lahan yang rentan terhadap lahan yang tidak rentan atau kurang rentan merupakan faktor penting yang menentukan indeks kualitas tanah rata-rata di seluruh DAS dalam kaitannya dengan interaksinya dengan proses erosi. Fungsi pengaturan lingkungan tanah terkait erat dengan produktivitasnya, keduanya ditentukan oleh kualitas tanah. Ketahanan tanah mempengaruhi kualitas tanah dengan mengurangi dampak buruk dari proses degradasi dominan. Dampak erosi terhadap kualitas tanah dan sebaliknya dipengaruhi oleh efek interaktif faktor biofisik dan lingkungan sosioekonomi. Efek erosi terhadap kualitas tanah bergantung pada kedalaman tanah minimum yang diperlukan untuk mempertahankan produktivitas dan menjaga kapasitas pengaturan lingkungan. Efek erosi terhadap kualitas dan produktivitas tanah minimal untuk tanah dengan profil yang dalam dan sifat yang seragam dan menguntungkan (Lal *et al.*, 1999).

2.7 Proses dan Penyebab Erosi Air

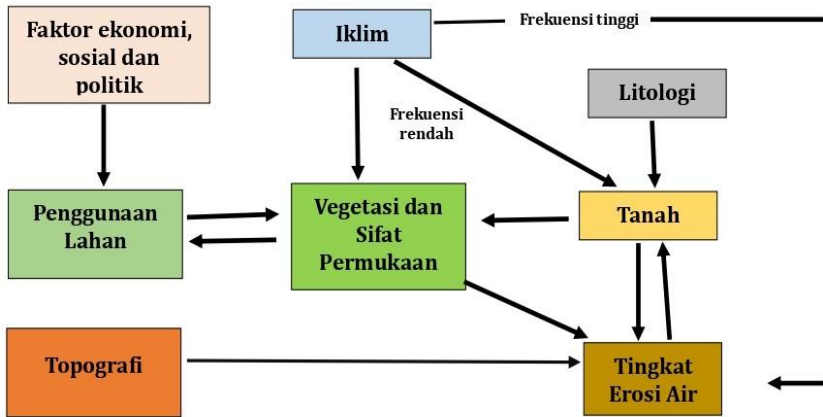
Erosi tanah (Osman, 2014) melibatkan dua proses: pelepasan partikel dari agregat tanah dan pengangkutan partikel oleh air atau angin. Erosi tanah di lanskap yang tidak terganggu oleh kekuatan alam disebut erosi normal, erosi alami, atau erosi geologis yang terjadi hampir tanpa suara dan tidak meninggalkan jejak. Erosi alami tidak terlalu menjadi perhatian karena jumlah kehilangan tanah mudah dikompensasi oleh proses alami pembentukan tanah. Namun, tindakan manusia untuk eksploitasi lahan, air, vegetasi, dan sumber daya tanah sangat mempercepat luas dan intensitas erosi tanah. Ini dikenal sebagai erosi tanah dipercepat. Erosi dipercepat biasanya terjadi dengan kecepatan yang mengkhawatirkan yang mengurangi kualitas tanah dan hasil panen di lokasi dan merusak lahan, air dan instalasi di luar

lokasi. Erosi air (Kirby *et al.*, 2000) dikendalikan langsung oleh:

1. Iklim — melalui distribusi kejadian badai
2. Vegetasi—melalui tutupan tajuk, memberikan perlindungan dari dampak percikan hujan dan melalui kekuatan lapisan akar
3. Sifat tanah—tekstur, bahan organik dan struktur memengaruhi penyimpanan air dan resistensi terhadap pelepasan dan pengangkutan sedimen (erodibilitas)
4. Topografi—melalui panjang lereng bukit (mewakili area pengumpulan aliran permukaan) dan melalui gradien sebagai pendorong traksi sedimen)

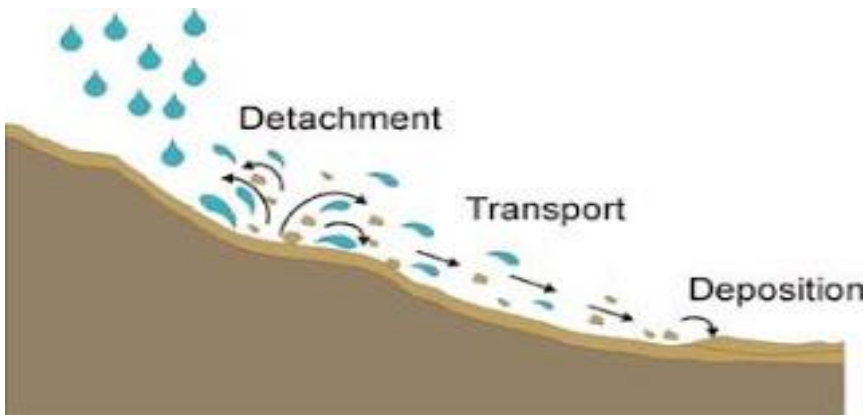
Sejumlah faktor ini bertindak melalui penggunaan lahan pertanian, yang itu sendiri dipengaruhi oleh faktor ekonomi dan sosial (Gambar 2).

Laju erosi (Wo *et al.*, 2024) pada lahan pertanian mengalami penurunan selama 5 tahun (2012-2017) di China disebabkan faktor alam (8,0% dan 6,0%) dan faktor ekonomi (17,3% dan 9,9%). Penyebab erosi tanah meliputi penggundulan hutan, penggembalaan berlebihan, pembakaran biomassa, pertanian berpindah, penebangan mekanis, pengolahan tanah di lereng atas dan bawah, penanaman monokultur terus-menerus, dan pemadatan tanah oleh ternak dan mesin. Penggundulan hutan, penggembalaan berlebihan, pertanian berpindah, dan penanaman monokultur. Erosi air merupakan masalah utama di lahan miring. Praktik konservasi tanah umum seperti pengolahan tanah minimal dan pemberian mulsa membantu mengurangi risiko. Tetapi lereng yang lebih curam dari 20° harus dibiarkan dalam kondisi alami. Hutan dan rumput yang memadai dapat berkembang jika dibiarkan tanpa gangguan.



Gambar 2. 2 Faktor yang Mempengaruhi Laju Erosi Air (Kirby *et al.* 2000)

Fundamental proses erosi (Foster *et al.*, 1985) meliputi pelepasan, pengangkutan dan pengendapan partikel tanah oleh tetesan hujan dan aliran permukaan (Gambar 3)



Gambar 2. 3 Fundamental Proses Erosi (diakses dari <https://www.geovolcan.com/erosi/>)

2.7.1 Pelepasan

Pelepasan adalah proses terlepasnya partikel tanah dari massa tanah. Laju pelepasan tanah umumnya dinyatakan sebagai jumlah tanah kering yang terlepas oleh air yang mengalir dalam satuan luas dan periode. Nilai maksimum laju pelepasan tanah muncul untuk aliran air jernih ketika laju pengendapan dan pengangkutan sedimen adalah nol (Nearing *et al.*, 1991; Wang and Zhang, 2018).

Sebagian besar tanah bersifat kohesif karena partikel tanah primer terikat bersama oleh gaya ikatan fisik dan kimia. Misalnya, tanah yang mengandung lempung bersifat kohesif karena lempung merupakan agen pengikat. Sebaliknya, pasir murni bersifat nonkohesif, longgar dan sudah terlepas. Tidak ada gaya selain gravitasi dan gesekan yang menahan partikel-partikel ini di tempatnya. Gaya yang dibutuhkan untuk melepaskan partikel dari tanah kohesif lebih besar daripada gaya yang dibutuhkan untuk memindahkan partikel yang sama yang terletak longgar di permukaan tanah.

2.7.2 Pengangkutan

Pengangkutan adalah pergerakan partikel tanah di atas permukaan tanah. Tetesan hujan yang mengenai tanah gundul melepaskan dan memercikkan partikel tanah ke segala arah, dengan beberapa partikel mendarat di vegetasi terdekat. Beberapa di antaranya tetap berada di sana untuk waktu yang tidak terbatas. Sebagian lainnya terbawa dari tumbuh-tumbuhan kembali ke permukaan tanah kemudian terciprat lagi. Beberapa partikel terciprat langsung ke aliran permukaan yang dapat mengangkutnya jarak jauh sebelum diendapkan. Setelah pengendapan, partikel-partikel ini dapat tetap berada di tempatnya hingga

aliran permukaan meningkat kemudian dalam badai tersebut atau hingga badai berikutnya, mungkin bertahun-tahun kemudian, memindahkannya lebih jauh ke bawah lereng. Kapasitas pengangkutan adalah kapasitas agen erosi untuk mengangkut sedimen. Beban sedimen adalah laju pengangkutan aktual dan dapat lebih besar atau lebih kecil dari kapasitas pengangkutan.

2.7.3 Pengendapan

Jika beban sedimen melebihi kapasitas pengangkutan, pengendapan terjadi pada laju yang proporsional dengan perbedaan antara kapasitas pengangkutan dan beban sedimen. Pengendapan mengurangi beban sedimen dan sedimen menumpuk di permukaan tanah. Sebaliknya, jika beban sedimen kurang dari kapasitas pengangkutan, pelepasan oleh aliran dapat terjadi.

Pengangkutan partikel yang terlepas oleh air limpasan. Air limpasan yang sarat dengan partikel tersuspensi juga melepaskan lebih banyak partikel tanah dalam perjalanannya melintasi permukaan. Erosi tanah adalah proses kehilangan tanah, terutama dari permukaan, tetapi terkadang sejumlah besar tanah dapat hilang, seperti pada tanah longsor dan erosi tepi sungai.

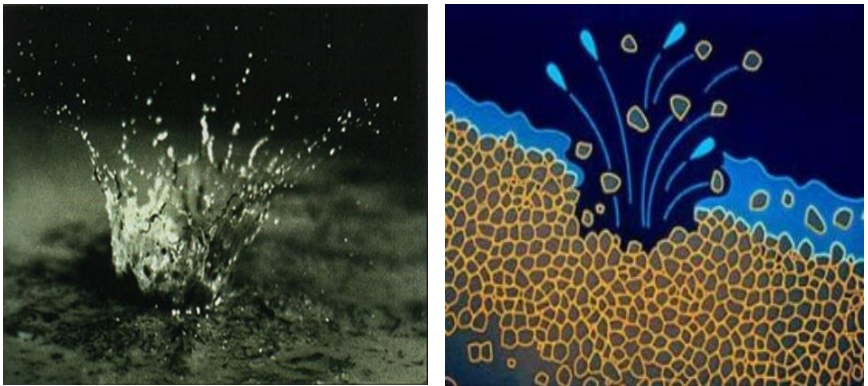
2.8 Jenis Erosi Air

Kohnke & Bertrand (1959); Osman (2014), mengklasifikasikan erosi air menjadi erosi lembaran, erosi internal dan erosi saluran. Erosi saluran selanjutnya dibagi menjadi erosi alur, erosi jurang dan erosi aliran. Namun, empat jenis erosi air berikut ini umumnya diakui yaitu erosi percikan, erosi lembaran, erosi alur dan erosi parit. Erosi

percikan dan erosi lembaran kadang-kadang disebut erosi antar alur.

2.8.1 Erosi Percikan

Pada awal peristiwa hujan, tetesan air hujan yang jatuh menghantam agregat tanah, memecah dan melepaskan partikel tanah. Partikel-partikel ini menyumbat pori-pori tanah yang besar dan mengurangi kapasitas infiltrasi tanah. Air tidak dapat masuk ke dalam tanah, dan segera lapisan tipis air menutupi permukaan tanah. Selanjutnya, tetesan air hujan menghantam air dan memercikkan partikel tanah yang tersuspensi. Partikel tanah diangkut ke jarak tertentu oleh percikan tersebut. Partikel yang terciprat dapat naik setinggi 60 cm di atas permukaan tanah dan bergerak hingga 1,5 m dari titik tumbukan. Proses erosi percikan melibatkan tumbukan tetesan air hujan, percikan partikel tanah, dan pembentukan kawah (Ghadiri, 2004; Osman, 2014). Erosi percikan (Gambar 2.3.) adalah awal dari jenis erosi tanah lainnya, khususnya erosi lembaran.



Gambar 2. 4 Erosi Percikan (Foto milik Dr. Lasikaamarasena; Osman, 2014)

2.8.2 Erosi Lembaran

Lapisan tipis tanah yang hilang disebabkan tetesan hujan dan aliran permukaan dangkal dari seluruh lereng, itu disebut erosi lembaran. Erosi ini menghilangkan lapisan tanah atas yang subur dan halus dengan banyak nutrisi dan bahan organik. Ini adalah jenis erosi tanah yang paling berbahaya karena terjadi secara bertahap dan hampir tanpa suara, meninggalkan sedikit atau tanpa tanda-tanda pengangkatan tanah.

Erosi lembaran melibatkan pengangkatan lapisan tanah yang kurang lebih seragam di seluruh lereng lahan (Gambar 2.4). Partikel tanah terlepas terutama oleh tetesan hujan dan kedua oleh embun beku, kuku hewan ternak, pengolahan tanah, dan aksi mekanis mesin pertanian. Partikel yang terlepas diangkut oleh air limpasan sebagai aliran permukaan. Erosi lembaran lebih seragam dan bertahap, karena permukaan menjadi lebih halus. Namun, air masih dapat menumpuk bahkan pada lereng yang paling halus sekalipun. Intensitas akumulasi air limpasan bergantung pada ketinggian aliran air, kekasaran permukaan, vegetasi, atau distribusi tanaman.

Erosi lembaran secara bertahap mengikis lapisan tanah yang lebih dalam, jika dibiarkan berlangsung tanpa hambatan dan lapisan tanah bawah terpapar di area yang luas. Lapisan tanah bawah biasanya memiliki tekstur dan warna yang berbeda dan lebih padat. Namun, lereng seringkali tidak seragam di seluruh area dan air terakumulasi di saluran-saluran kecil, sehingga permukaan dilintasi oleh alur-alur yang terputus-putus. Hal ini kemudian dikenal sebagai erosi antar alur.

Selain partikel tanah, erosi lembaran menghilangkan (i) residu organik yang terakumulasi di permukaan tanah dan (ii) materi yang larut dan mudah

larut, materi yang dilarutkan oleh asam lemah dalam air hujan. Zachar (1982) menyatakan bahwa erosi lembaran mewakili mikroerosi, yaitu; pengikisan dan pencucian tanah untuk menghasilkan bentuk skala kecil yang dapat mencakup erosi tetesan hujan, erosi laminar, erosi alur dan erosi lapisan.



Gambar 2. 5 Erosi Permukaan yang Parah Telah Mengekspos Akar Pohon di Hutan Jati. Permukaan Tanah Miring yang Terpengaruh oleh Erosi Antar Alur (Foto Milik Dr. Animesh Biswas dan USDA-NRCS; Osman, 2014)

2.8.3 Erosi Laminar

Erosi ini terjadi pada aliran air apapun di permukaan tanah yang miring dimana energi kinetik air kecil dan hanya partikel tanah terkecil yang hanyut secara selektif. Akibat akumulasi air limpasan permukaan, erosi alur berkembang, menyebabkan terbentuknya alur-alur kecil dengan diameter beberapa sentimeter pada penampang melintang, dan dengan kedalaman tidak melebihi lapisan tanah yang dapat diolah. Alur-alur yang terbentuk dalam baris dan alur, dengan efek meningkatkan dimensi dan visibilitasnya yang hilang selama pengolahan tanah. Dalam bentuk erosi ini, tanah dan partikel yang dipindahkan oleh air

dapat dipisahkan dan dipilah secara intensif. Saat erosi lapisan tanah tidak hanyut dalam bentuk lamina atau alur, tetapi dalam lapisan hingga beberapa meter lebarnya dan 10–25 cm dalamnya dari permukaan yang diolah, yaitu dalam bentuk jalur yang tampak dimana lapisan tanah atas telah hilang secara keseluruhan.

2.8.4 Erosi Alur

Curah hujan yang melebihi laju infiltrasi, air akan menumpuk di permukaan, dan jika lahan miring, air akan bergerak mengikuti kemiringan. Pada lahan yang miring landai, dengan tanaman yang masih berdiri atau di lahan yang baru saja dibajak, air yang bergerak akan terkonsentrasi di sepanjang saluran-saluran kecil yang disebut alur (Gambar 2.5). Alur memiliki kedalaman kurang dari 30 cm. Aksi pemotongan oleh air yang mengalir akan melepaskan partikel tanah, dan air limpasan akan membawanya pergi. Jumlah kehilangan tanah mungkin tinggi, tetapi saluran-saluran kecil tersebut biasanya tidak mengganggu alat-alat pengolahan tanah. Alur dapat diratakan oleh operasi pengolahan tanah normal. Erosi alur seringkali merupakan tahap awal erosi parit.



Gambar 2. 6 Permukaan Tanah Miring yang Terpengaruh oleh Erosi Antar Alur (Foto milik USDA-NRCS; Osman, 2014)

Erosi alur sebagian besar disebabkan oleh sejumlah besar material yang dilepaskan dan diangkut dalam jarak yang bervariasi di area yang terkonsentrasi. Di sisi lain, aliran air di permukaan memiliki efek yang lebih kecil pada pelepasan tanah, tetapi efek pengangkutan yang lebih besar. Namun, air yang mengalir, terutama di lahan yang diolah, dapat menjadi agen pengangkut partikel yang terlepas secara mekanis, kimiawi, atau dengan cara lain selain aliran air itu sendiri, dan oleh karena itu merupakan fenomena yang sangat penting dari sudut pandang kehilangan tanah total (Zachar 1982).

Erosi alur lebih dominan dapat ditemukan pada lereng yang lebih curam dengan material tanah ke arah air yang terdiri dari sedimen yang lebih muda yang rentan terhadap erosi. Seperti yang biasanya terlihat, erosi alur mendominasi dan mempengaruhi seluruh panjang

lereng, yang berarti bahwa air hujan telah mencapai tanah, mengalir melalui jaringan alur yang padat, secara virtual memotong lereng menjadi lempengan tipis. Terjadinya erosi percikan atau erosi lembaran tidak terlihat, tetapi ada juga beberapa erosi dari bentuk-bentuk ini. Fenomena serupa terjadi pada lereng yang curam, bahkan pada material lempung berpasir yang kedap air. Pada material yang kedap air atau lebih berat dan lebih tahan, erosi alur membentuk punggung yang dipisahkan oleh alur dan jurang yang terpotong tajam. Alur-alur tersebut kadang-kadang sangat sempit sehingga menyerupai retakan, dan dapat disebut erosi retakan.

Pada lereng curam yang terdiri dari material dengan resistensi yang bervariasi, terbentuk lubang vertikal, dan ini segera berkembang menjadi erosi terowongan atau erosi cekungan, memisahkan bentuk yang terkikis menjadi pipa-pipa terisolasi, dan sebagainya. Di tempat material lebih homogen dan kemiringannya kurang curam, pembentukan alur lebih dominan. Jika material lebih kasar dan kurang resisten, air yang mengalir membawa tanah dengan cepat dan menciptakan bentuk segitiga atau palung sehubungan dengan penampang saluran. Dalam kasus seperti itu, panjang alur lebih besar, tetapi lamela antar alur lebih tipis, dan tepinya lebih tajam.

Dalam bentuk erosi ini, tanah dan partikel yang dipindahkan oleh air dapat dipisahkan dan dipilah secara intensif. Pada erosi lapisan, tanah tidak hanyut dalam bentuk lamina atau alur, tetapi dalam lapisan hingga beberapa meter lebarnya dan 10–25 cm dalamnya dari permukaan yang diolah, yaitu, dalam bentuk jalur yang tampak di mana lapisan tanah atas telah sepenuhnya dihilangkan

2.8.5 Erosi Parit

Parit adalah saluran besar dengan kedalaman lebih dari 30 cm. Parit terbentuk ketika sejumlah besar air terakumulasi dan mengalir melalui satu saluran dengan kecepatan tinggi di lereng yang relatif curam (Gambar 2.6.). Parit juga dapat terbentuk karena pendalaman alur secara bertahap. Ada dua jenis parit: sementara dan permanen. Parit sementara membentuk saluran dangkal yang dapat dengan mudah diperbaiki dengan operasi pengolahan tanah rutin. Di sisi lain, parit permanen sangat besar dan tidak dapat diratakan dengan pengolahan tanah biasa (Blanco dan Lal 2008). Parit dengan berbagai ukuran dan bentuk terbentuk karena pendalaman alur secara bertahap. Sejumlah bentuk dapat dibedakan dalam erosi parit. Bentuk pertama meliputi parit dengan kedalaman antara 30 cm dan 2–3 m.



Gambar 2. 7 Permukaan Tanah Miring yang Terpengaruh oleh Erosi Antar Alur (Foto milik USDA-NRCS; Osman, 2014)

Pada bentuk ini, erosi khas yang dominan adalah erosi mundur yang nyata dan erosi vertikal atau kedalaman. Parit memiliki dimensi yang lebih besar dan perkembangannya lebih rumit. Selain erosi mundur dan vertikal, erosi lateral juga muncul di sini, bersama dengan longsor tambahan, aliran tanah, dan fenomena lainnya. Parit dapat tumbuh menjadi ngarai dan parit di ketinggian dan lereng yang sangat curam. Parit dapat berbentuk datar, sempit, lebar, dan bulat. Bentuk datar sebagian besar terjadi pada tanah dangkal atau berhubungan dengan struktur litik spesifik dari lereng. Pada bentuk ini, yang dicirikan oleh penampang V yang lebar, erosi lateral lebih dominan daripada erosi vertikal. Bentuk sempit dan tajam terbentuk dengan penampang V yang sempit, lebar jurang biasanya sama dengan kedalamannya atau lebih kecil. Jurang lebar memiliki dasar yang lebar dan berbentuk U. Di sini, erosi lateral lebih dominan daripada erosi kedalaman. Jurang aktif mempertahankan sisi yang curam atau bahkan tegak lurus. Sering terjadi bahwa bentuk-bentuk baru menggantikan bentuk-bentuk yang lebih tua sehingga asal dan usianya tidak dapat dinilai dari pengamatan permukaan. Ciri utama erosi parit adalah volume dan kecepatan air di tingkat terendah. Energi air yang mengalir meningkatkan daya potong dan hancurkannya, dan seringkali mengakibatkan erosi tebing.

*The earth provides enough to satisfy every human being's needs, but not enough to satisfy every human being's greed
(Mahatma Gandhi)*

DAFTAR PUSTAKA

- Bai ZG, Dent DL, Olsson L and Schaepman ME. 2008. Proxy Global Assessment of Land Degradation. *Soil Use and Management*, 24, 223–234.
- Blaikie P and Brookfield H, 1987. *Land Degradation and Society*. London: Methuen.
- Chisholm A and Dumsday R, 1987. *Land Degradation: Problems and Policies*. Cambridge: Cambridge University Press
- Delang CO. 2018. The Consequences of Soil Degradation In China: A Review. Department of Geography, Hongkong Baptist University, 15 Baptist University Road, Kowloon Tong. *GeoScape* 12(2) — 2018: 92—103. Doi: 10.2478/geosc-2018-0010.
- Dregne HE. 1992. Erosion and Soil Productivity in Asia. *J Soil Water Conservation* 47: 8-13.
- Eswaran H, 1999. Recommendations Of The 2nd International Conference on Land Degradation. The Reports of 2nd International Conference on Land Degradation, Khon Kaen, Thailand.
- Eswaran H, Lal R, Reich P.F. 2001. *Land Degradation: An overview*. CRC Press. P-16. Diakses pada Tanggal 20 Mei 2026. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9780429187957-4/land-degradation-overview-eswaran-lal-reich>
- Foster GR, Young R.A, Romkens MJM and Onstad CA. 1985. Processes of Soil Erosion by Water. Published in R. F. Follett and B. A. Stewart, ed. 1985. *Soil Erosion and Crop Productivity*. 137-162.

- Galvani A. 2007. The Challenge of The Food Sufficiency Through Salt Tolerant Crops. *Rev Environ Sci. Biotechnology* 6(1-3):3-16
- Garcia Ruiz JM, Begueria S, Renault NL, Romero EN and Cerda A. Ongoing and Emerging Questions in Water Erosion Studies.
- Ghadiri H. 2004. Crater Formation In Soils By Raindrop Impact. *Earth Surf Process Landforms* 29:77-89.
- Gomiero T. 2016. Soil Degradation, Land Scarcity and Food Security: Reviewing A Complex Challenge. *Sustainability* 8(3):281. <https://doi.org/10.3390/su8030281>
- Hossain A, Krupnik TJ, Timsina J, Mahboob MG, Chaki AK, Farooq M, Bhatt R, Fahad S and Hasanuzzaman M. 2020. Agricultural Land Degradation: Processes and Problems Undermining Future Food Security. Springer Nature Switzerland AG. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49732-3_2.
- Issaka S and Ashra MA. Impact Of Soil Erosion and Degradation On Water Quality: A Review. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 1:1, 1-11, DOI: 10.1080/24749508.2017.130105.
- Jie C, Zhang J, Man ZHL. T, Tong GZ. 2002. Soil Degradation: A Global Problem Endangering Sustainable Development. Institute of Soil Science, CAS, Nanjing 210008, China. *J. of Geographical Sciences* 12, 2. Hal 243-252 ISSN:1009-637X.
- Kirby MJ, Bissonais YL, Coulthard TJ, Daroussin and McMahon MD. 2000. The Development of Land Quality Indicators For Soil Degradation By Water Erosion. Elsevier. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 81: 125-135.

- Kohnke H and Bertrand AR. 1959. Soil Conservation. McGraw Hill, New York.
- Lal R, 1995. Erosion-crop productivity relationships for soils of Africa. Soil Science Society of America Journal, 59 (3): 661-667
- Lal R, Mokma D, Lowery B. 1999. Relation Between Soil Quality and Erosion. Book chapter Soil Quality and Soil Erosion. 1st Edition. CRC Press.
- Lal Rattan. 2001. Soil Degradation by Erosion. School of Natural Resources. School of Natural Resources, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA. Land Degradation & Development 12: 519-539. DOI: 10.1002/ldr.472
- Lal Rattan. 2015. *Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation*. J. Sustainability. 7. 5875-5895; doi :10.3390/su7055875. ISSN 2071-1050. The Ohio State University, Columbus, OH 43210.USA
- Liu M and Han G. 2020. Assessing Soil Degradation Under Land-Use Change: Insight From Soil Erosion and Soil Aggregate Stability In A Small Karst Catchment In Southwest China. PeerJ 8:e8908 <http://doi.org/10.7717/peerj.8908>.
- Nearing MA, Bradford JM, and Parker SC. 1991. Soil Detachment By Shallow Flow At Low Slopes. Soil Sci. Soc. Am. J. 55:339-344. doi:10.2136/sssaj1991.03615995005500020006x
- Oldeman L R, Hakkeling R T A, Sombroek W G, 1991. World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation: An Explanatory Note. Wageningen, The Netherlands and Nairobi, Kenya: International Soil Reference and Information Centre and United Nations Environment Programme.

- Osman, Khan Towhid. 2014. Soil Degradation, Conservation and Remediation. Springer.
- Wang B and Zhang GH. 2018. Quantifying the Binding and Bonding Effects of Plant Roots on Soil Detachment by Overland Flow in 10 Typical Grasslands on the Loess Plateau. Soil and Water Management and Conservation. Soil Sci. Soc. Am. J. 81:1567–1576 doi:10.2136/sssaj2017.07.0249
- Wo Ran, Fang D, Ye S and Kuzyako Y. 2024. Soil Erosion Drivers in Chinese Cropland. J.of Cleaner Production 485 (2024) 144405.
- Yokersane. 2026. Konservasi Tanah menurut *Islam diakses 9 Mei 2026 melalui* <https://yokersane.com/hukum-konservasi-tanah-islam/>.
- Zachar D. 1982. Soil Erosion. Elsevier. Amsterdam

BAB 3

MANAJEMEN TANAH YANG BERKELANJUTAN

Oleh Futihatul Rizkiani Azizah

Tanah memiliki peran sebagai media tumbuh bagi tanaman dengan menyediakan unsur hara, air, serta ruang bagi perkembangan sistem perakaran yang diperlukan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Roussis & Kakabouki, 2024). Secara umum, tanah tersusun atas empat komponen utama, yaitu mineral, udara, air, dan bahan organik. Pada kondisi ideal, komponen-komponen tersebut masing-masing menyusun tanah dengan komposisi 45% mineral, 25% air, 25% udara, 2-5% bahan organik dari total volume tanah. Selain berfungsi sebagai media tumbuh tanaman dan penunjang produksi biomassa, tanah juga memiliki peran yang lebih luas dalam mendukung keberlangsungan ekosistem. Menurut McBratney *et al.* (2014) tanah merupakan sumber daya yang menyediakan berbagai jasa ekosistem, pemeliharaan keanekaragaman hayati, serta penyangga kualitas lingkungan. Pandangan ini kemudian yang melandasi berkembangnya konsep pengelolaan tanah berkelanjutan, dimana pengelolaannya tidak hanya berorientasi pada peningkatan produktivitas, tetapi juga pada pemeliharaan fungsi ekologis dan keberlanjutan lingkungan.

Pemanfaatan lahan yang tidak sesuai dengan kemampuan dan daya dukung tanah dapat memicu berbagai bentuk degradasi, seperti erosi, pemadatan tanah, penurunan kandungan bahan organik, kehilangan unsur hara, serta pencemaran akibat bahan kimia yang berlebihan (AbdelRahman, 2023). Degradasi tersebut tidak hanya berdampak pada penurunan produktivitas pertanian, namun juga mengurangi kapasitas tanah dalam menjalankan fungsi-fungsi ekologisnya. Penurunan kemampuan tanah dalam menyimpan dan mengatur ketersediaan air, menyerap dan menuimpan karbon, mendaur ulang unsur hara, serta mendukung keanekaragaman hayati dapat mengganggu keseimbangan ekosistem. Kondisi ini pada akhirnya menyebabkan berkurangnya kemampuan tanah dalam menyediakan berbagai jasa ekosistem yang penting bagi keberlanjutan produksi pertanian dan kualitas lingkungan.

Dalam praktiknya, pengelolaan tanah harus mampu untuk menyeimbangkan antara kebutuhan produksi tanaman dengan pemeliharaan fungsi lingkungan. Fungsi-fungsi tersebut meliputi pengaturan dan penyimpanan air, siklus hara, penyimpanan karbon, pengendalian emisi gas rumah kaca, serta pemeliharaan keanekaragaman hayati (FAO & ITPS, 2015). Keseimbangan antara fungsi produktif dan ekologis menjadi sangat penting dikarenakan peningkatan produksi pertanian seringkali dilakukan dengan sistem pengolahan tanah secara intensif, penggunaan pupuk dan pestisida secara berlebihan, serta pemanfaatan lahan yang melampaui kapasitas daya dukungnya. Meskipun praktik-praktik tersebut dapat meningkatkan produktivitas dalam jangka pendek, penerapannya secara terus-menerus berpotensi menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti kerusakan struktur tanah, penurunan kandungan bahan organik, berkurangnya keanekaragaman hayati, pencemaran sumber daya air, serta peningkatan emisi gas rumah kaca.

Berdasarkan kondisi tersebut, manajemen tanah berkelanjutan dikembangkan sebagai pendekatan pengelolaan yang bertujuan menyeimbangkan antara fungsi produktif tanah dengan fungsi ekologis tanah. Keseimbangan tersebut menjadi ladaan utama dalam pengelolaan sumber daya tanah yang berkelanjutan, sehingga tanah tetap mampu menjalankan berbagai fungsi dan jasa ekosistemnya secara optimal di tengah meningkatnya tekanan lingkungan, perubahan iklim, dan kebutuhan pangan global.

3.1 Konsep Dasar Manajemen Tanah Berkelanjutan

3.1.1 Pengertian Manajemen Tanah Berkelanjutan

Konsep manajemen tanah berkelanjutan berakar pada pemahaman bahwa tanah merupakan sumber daya yang harus mampu mempertahankan fungsi-fungsi dan jasa ekosistemnya dalam jangka panjang. Tanah yang berkelanjutan tidak hanya mampu menyediakan berbagai fungsi yang penting bagi kehidupan manusia dan lingkungan, tetapi juga memiliki ketahanan terhadap berbagai gangguan dan tekanan. Menurut Bhogal *et al.* (2024), tanah yang berkelanjutan harus memiliki kemampuan untuk mempertahankan fungsinya ketika mengalami gangguan (*resistance*) serta mampu memulihkan kembali fungsi dan kualitasnya setelah mengalami tekanan atau kerusakan (*resilience*).

Berdasarkan konsep tersebut, manajemen tanah yang berkelanjutan (*Sustainable Soil Management*) menurut FAO (2017) didefinisikan sebagai pendekatan pengelolaan tanah yang memiliki tujuan untuk mempertahankan dan meningkatkan berbagai jasa ekosistem tanah, meliputi jasa pendukung (*supporting services*), jasa penyediaan (*provisioning services*), jasa

pengaturan (*regulating services*), dan jasa budaya (*cultural services*), tanpa mengurangi fungsi tanah maupun keanekaragaman hayati yang mendukung penyediaan jasa-jasa tersebut. Definisi ini menegaskan bahwa pengelolaan tanah tidak hanya berorientasi pada peningkatan produksi, tetapi juga pada pemeliharaan fungsi-fungsi ekologis yang mendukung keberlanjutan lingkungan.

Sejalan dengan definisi tersebut, Jaworski *et al.* (2024) menyatakan bahwa manajemen tanah berkelanjutan merupakan praktik pengelolaan lahan yang tidak hanya bertujuan untuk mencegah erosi dan degradasi tanah, tetapi juga meningkatkan kemampuan tanah menjalankan dalam menjalankan berbagai fungsi produktif dan ekologis yang sering dikaitkan dengan konsep kesehatan tanah (*soil health*). Oleh karena itu, prinsip-prinsip manajemen tanah berkelanjutan harus diarahkan pada upaya mempertahankan fungsi produktif sekaligus fungsi ekologis tanah.

Berdasarkan definisi tersebut, dapat diidentifikasi dua elemen kunci yang saling melengkapi dalam manajemen tanah berkelanjutan. Pertama, tanah harus mampu menyediakan berbagai jasa ekosistem yang esensial bagi kehidupan manusia dan keberlangsungan ekosistem secara berkelanjutan. Kedua, kapasitas tanah dalam menyediakan jasa-jasa ekosistem tersebut harus dipelihara dan ditingkatkan, sehingga tidak dikorbankan demi keuntungan atau peningkatan produktivitas jangka pendek. Keberhasilan manajemen tanah berkelanjutan tidak hanya diukur dari kemampuan tanah dalam mendukung produksi, tetapi juga dari kemampuannya dalam mempertahankan fungsi-fungsi ekologis yang menjadi dasar keberlangsungan sistem pertanian dan lingkungan.



Gambar 3. 1 Hubungan antara Manajemen Tanah Berkelanjutan dan Fungsi Tanah Serta Jasa Ekosistem (Jayaraman *et al.*, 2023)

Gambar 3.1 menunjukkan bahwa manajemen tanah berkelanjutan (*Sustainable Soil Management*, SSM) memiliki keterkaitan yang erat dengan berbagai fungsi tanah dan jasa ekosistem. Penerapan manajemen tanah berkelanjutan tidak hanya berperan dalam menjaga kesehatan tanah dan meningkatkan produktivitas tanaman, tetapi juga mendukung pemulihan lahan terdegradasi, ketahanan pangan dan gizi, penyimpanan karbon, perlindungan sumber daya tanah, serta pemeliharaan jasa ekosistem. Oleh karena itu, manajemen tanah berkelanjutan merupakan pendekatan yang mengintegrasikan tujuan produktivitas pertanian dengan keberlanjutan lingkungan dan kesejahteraan Masyarakat (Jayaraman *et al.*, 2023).

3.2 Degradasi Tanah dan Pentingnya Manajemen Tanah Berkelanjutan

Degradasi tanah dapat didefinisikan sebagai menurunnya kualitas tanah yang menyebabkan terjadinya penurunan kemampuan tanah dalam menyediakan barang dan jasa ekosistem. Menurut AbdelRahman (2023), degradasi tanah adalah perubahan secara kuantitatif maupun kualitatif pada sifat-sifat tanah yang menyebabkan berkurangnya potensi tanah untuk menghasilkan produksi. Secara konseptual, degradasi tanah dibagi menjadi empat macam, yaitu: (1) fisik, (2) kimia, (3) biologis, dan (4) ekologis (Lal, 2015). Bentuk-bentuk degradasi tanah yang umum terjadi meliputi erosi yang dipercepat, penurunan cadangan karbon organik tanah (*soil organic carbon* atau SOC), berkurangnya keanekaragaman hayati tanah, penurunan kesuburan tanah dan ketidakseimbangan unsur hara, serta proses pengasaman dan salinisasi tanah (Lal, 2015).

Degradasi tanah menjadi salah satu kendala utama dalam upaya meningkatkan produksi pertanian. Hal ini dikarenakan tanah merupakan sumber daya yang pada skala waktu manusia tergolong tidak terbarukan, sehingga kerentanannya terhadap degradasi dipengaruhi oleh interaksi yang kompleks antara berbagai proses, faktor, dan penyebab yang berlangsung pada berbagai skala ruang dan waktu. Perubahan iklim turut memperparah degradasi tanah melalui peningkatan frekuensi kejadian cuaca ekstrem, seperti kekeringan berkepanjangan dan curah hujan berintensitas tinggi yang dapat mempercepat erosi, menurunkan kandungan bahan organik tanah, serta mengganggu aktivitas biologi tanah.

Kondisi sumber daya tanah saat ini menghadapi berbagai tekanan yang semakin kompleks akibat aktivitas manusia dan perubahan iklim global. Seiring dengan meningkatnya pertumbuhan penduduk, kebutuhan pangan,

perkembangan industri, urbanisasi, serta perubahan pola konsumsi masyarakat secara global, intensitas pemanfaatan lahan terus meningkat di berbagai sektor (FAO, 2017). Tekanan tersebut mendorong penggunaan lahan yang melampaui kapasitas dan daya dukungnya, sehingga meningkatkan risiko terjadinya berbagai bentuk degradasi tanah yang berdampak pada penurunan kualitas lingkungan dan produktivitas pertanian.

Degradasi tanah tidak hanya berdampak pada penurunan produktivitas lahan, namun juga mengurangi kemampuan tanah dalam menyediakan jasa ekosistem yang penting bagi lingkungan (FAO & ITPS, 2015). Praktik konservasi tanah dan pengelolaan tanah berkelanjutan dapat membantu mempertahankan kandungan bahan organik, menjaga stabilitas struktur tanah, serta meningkatkan kemampuan tanah dalam menyimpan dan mengatur air. Selain itu, manajemen tanah berkelanjutan juga berkontribusi dalam meningkatkan kapasitas tanah sebagai penyerap karbon sehingga dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. Sebaliknya, praktik seperti penggundulan hutan, penggembalaan berlebihan, dan pengolahan tanah secara intensif pada lahan yang rentan dapat mempercepat kerusakan struktur tanah, menurunkan fungsi tanah, serta mengurangi kualitas air permukaan (Steinfeld *et al.*, 2006). Oleh karena itu, penerapan manajemen tanah berkelanjutan menjadi sangat penting untuk menjaga produktivitas lahan sekaligus mempertahankan fungsi-fungsi ekologis tanah dalam jangka panjang.

Kesehatan tanah merupakan faktor penting dalam mewujudkan ketahanan pangan dan penyediaan berbagai jasa ekosistem penting lainnya yang mendukung kehidupan manusia. Namun, meningkatnya kebutuhan pangan dan biomassa mendorong praktik pengelolaan tanah dan lahan yang tidak berkelanjutan, sehingga dapat mengancam

keberlanjutan sumber daya tanah. Selain itu, berbagai bentuk degradasi lainnya, seperti penyegelan tanah (*soil sealing*) juga menjadi ancaman serius terhadap kelestarian sumber daya tanah (Mason *et al.*, 2023). Sesuai dengan peran tanah yang sangat penting bagi kehidupan manusia dan lingkungan, keberlanjutan sumber daya tanah menjadi salah satu faktor kunci dalam pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals/SDGs*).

Hou *et al.* (2020) telah menjelaskan bahwa tanah memiliki kontribusi yang sangat penting dalam mendukung pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan yang ditetapkan oleh Perserikatan Bangsa Bangsa (*United Nations*). Peran tersebut terutama berkaitan dengan Pengentasan Kemiskinan (SDG 1: *No Poverty*), Penghapusan Kelaparan (SDG 2: *Zero Hunger*), Kesehatan dan Kesejahteraan (SDG 3: *Good Health and Well-being*), Akses terhadap Air Bersih dan Sanitasi (SDG 6: *Clean Water and Sanitation*), Energi Bersih dan Terjangkau (SDG 7: *Affordable and Clean Energy*), Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab (SDG 12: *Responsible Consumption and Production*), Penanganan Perubahan Iklim (SDG 13: *Climate Action*), serta Perlindungan Ekosistem Daratan (SDG 15: *Life on Land*) sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar 2. Keterkaitan tersebut menunjukkan bahwa upaya menjaga kesehatan dan keberlanjutan sumber daya tanah tidak hanya penting bagi sektor pertanian, namun juga menjadi fondasi bagi pencapaian berbagai tujuan pembangunan berkelanjutan.



Gambar 3. 2 Hubungan antara Tanah dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals/SDGs) (Hou *et al.*, 2020)

3.3 Prinsip Manajemen Tanah Berkelanjutan

Prinsip manajemen tanah berkelanjutan pertama kali dirumuskan secara konseptual dalam kerangka Global Soil Partnership yang mengemukakan enam prinsip utama, yaitu Melindungi (*Protect*), Memulihkan (*Restore*), Memelihara (*Maintain*), Meningkatkan (*Enhance*), Mengembangkan (*Promote*), dan Mengomunikasikan (*Communicate*) pengelolaan tanah berkelanjutan (UN, 2016). Keenam prinsip tersebut menekankan bahwa pengelolaan tanah tidak hanya berfokus pada perlindungan dan perbaikan kondisi tanah, tetapi juga pada pengembangan pengetahuan, inovasi, penyuluhan, serta komunikasi kepada berbagai pemangku kepentingan.

Prinsip-prinsip tersebut kemudian diperluas dan diterjemahkan ke dalam aspek-aspek pengelolaan yang lebih bersifat operasional melalui *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management* (FAO, 2017). Pedoman tersebut menekankan pentingnya pengendalian erosi, peningkatan

bahan organik tanah, pengelolaan hara dan air secara berkelanjutan, pencegahan berbagai bentuk degradasi tanah, konservasi biodiversitas tanah, serta pengurangan pencemaran lingkungan. Dengan demikian, prinsip-prinsip manajemen tanah berkelanjutan mencakup aspek konseptual, kelembagaan, dan teknis yang saling melengkapi dalam menjaga fungsi produktif dan ekologis tanah.

1. **Meminimalkan erosi tanah**, baik yang disebabkan oleh air maupun angin, untuk menjaga lapisan tanah yang subur dan mencegah kehilangan sumber daya tanah. Erosi tanah dan air telah diidentifikasi sebagai ancaman serius terhadap keberlanjutan sumber daya tana global dan jasa ekosistem yang disediakannya. Terjadinya erosi tanah menyebabkan hilangnya lapisan atas tanah (*topsoil*) yang kaya akan bahan organik tanah dan unsur hara mineral, menurunkan produktivitas lahan dan kualitas air, serta menimbulkan sedimentasi. Proses ini diperparah oleh aktivitas manusia seperti pengurangan tutupan vegetasi, pengolahan tanah yang intensif, serta pengelolaan lahan yang tidak memperhatikan konservasi tanah.
2. **Meningkatkan kandungan bahan organik tanah**, sehingga kadarnya tetap stabil atau meningkat sesuai kondisi optimal yang mendukung fungsi dan produktivitas tanah. Bahan organik tanah (BOT) memiliki peran penting dalam mempertahankan fungsi-fungsi tanah dan mencegah terjadinya degradasi tanah. Tanah merupakan penyimpan karbon organik terbesar di bumi dan berperan penting dalam mengatur iklim serta mengurangi dampak perubahan iklim melalui keseimbangan antara emisi gas rumah kaca dan penyerapan (sekuestrasi) karbon. Kehilangan karbon organik tanah (C-Organik) akibat penggunaan lahan yang tidak tepat atau praktik pengelolaan tanah dan budidaya yang buruk dapat menyebabkan penurunan

kualitas tanah dan kerusakan struktur tanah, serta meningkatkan erosi tanah yang berpotensi melepaskan karbon ke atmosfer. Sebaliknya, penggunaan lahan dan pengelolaan tanah yang tepat dapat meningkatkan kandungan C-Organik dan memperbaiki kualitas tanah sehingga dapat membantu mengurangi peningkatan CO₂ di atmosfer.

3. **Mencegah dan mengurangi pemadatan tanah** agar struktur tanah tetap baik, sehingga pergerakan udara, air, dan panas di dalam tanah serta pertumbuhan akar tanaman tidak terganggu. Pemadatan tanah (*soil compaction*) merupakan salah satu bentuk degradasi fisik tanah yang terjadi akibat tekanan mekanis dari penggunaan alat dan mesin pertanian, lalu lintas kendaraan, maupun injakan ternak. Pemadatan tanah, yang ditandai oleh berkurang atau terganggunya kontinuitas pori tanah, mengurangi aerasi tanah karena merusak agregat tanah dan menyebabkan runtuhnya pori-pori besar (*macropores*). Selain itu, pemadatan tanah juga mengurangi drainase dan infiltrasi air sehingga meningkatkan limpasan permukaan (*runoff*). Pemadatan membatasi pertumbuhan akar dan perkecambahan benih akibat tingginya hambatan mekanis tanah, memengaruhi keanekaragaman hayati tanah, serta dapat menyebabkan pembentukan kerak pada permukaan tanah (*soil crusting*).
4. **Memelihara keseimbangan dan siklus hara dalam tanah**, sebagai upaya memastikan ketersediaan dan pemanfaatan unsur hara yang efisien serta mengurangi kehilangan hara dari tanah. Keseimbangan hara erat kaitannya dengan dinamika interaksi antara tanah, air, unsur hara, dan perakaran tanaman. Pengelolaan unsur hara yang berkelanjutan harus didasarkan pada prinsip kecukupan dan efisiensi penggunaan hara. Unsur hara tanaman perlu disesuaikan dengan kebutuhan tanaman, kondisi tanah, dan iklim setempat. Ketersediaan unsur

hara bagi tanaman dapat ditingkatkan melalui penerapan pengelolaan hara terpadu, yang mengombinasikan pemanfaatan pupuk anorganik, pupuk organik, residu tanaman, serta bahan pembenah tanah lainnya.

5. **Mencegah, meminimalkan, dan mengendalikan degradasi kimia tanah**, seperti salinisasi (*salinization*), dan alkalinisasi (*alkalinization*). Salinisasi dan merupakan bentuk degradasi kimia tanah yang dapat menyebabkan perubahan sifat kimia tanah sehingga mengganggu pertumbuhan tanaman dan produktivitas lahan serta menurunkan fungsi tanah sebagai media tumbuh tanaman. Salinisasi terjadi akibat akumulasi garam-garam terlarut dalam tanah, sedangkan alkalinisasi ditandai oleh adanya peningkatan pH tanah dan dominasi ion natrium yang dapat merusak struktur tanah. Degradasi kimia tanah dapat dipicu oleh faktor alami maupun aktivitas manusia. Faktor alami meliputi iklim kering dengan laju evapotranspirasi tinggi, intrusi air laut pada wilayah pesisir, dan bahan induk tanah yang kaya garam. Sementara itu, faktor antropogenik meliputi penggunaan pupuk dan bahan kimia yang tidak berimbang, irigasi yang tidak tepat, kualitas air irigasi yang buruk, drainase yang kurang memadai, serta pengelolaan lahan yang tidak sesuai dengan karakteristik tanah.
6. **Mengelola air tanah secara efisien** agar air hujan maupun air irigasi dapat meresap, tersimpan, dan dimanfaatkan secara optimal oleh tanaman, sekaligus mencegah genangan akibat kelebihan air. Tanah yang dikelola secara berkelanjutan memiliki kemampuan infiltrasi air yang cepat, kapasitas penyimpanan air tersedia bagi tanaman yang optimal, serta drainase yang efisien ketika tanah berada dalam kondisi jenuh air. Namun, apabila kondisi tersebut tidak terpenuhi, maka dapat terjadi masalah genangan air (*waterlogging*)

maupun kekurangan air (*water scarcity*). Di satu sisi, genangan air yang terjadi akibat tanah jenuh oleh air dapat menimbulkan masalah bagi pertumbuhan akar berbagai tanaman, sehingga menurunkan hasil panen, dan dapat menyebabkan bahan pencemar seperti arsenik dan metilmerkuri menjadi lebih mudah bergerak di dalam tanah. Di sisi lain, kekurangan air yang terjadi akibat hilangnya air melalui evaporasi, limpasan permukaan, dan perkolasi dapat menyebabkan kegagalan panen.

7. **Mencegah pencemaran tanah.** Tanah memiliki kemampuan untuk menyaring, mengikat, dan menetralkan berbagai bahan pencemar. Namun, Ketika kondisi lingkungan berubah tanah juga dapat melepaskan Kembali bahan pencemar tersebut, misalnya pelepasan logam berat akibat penurunan pH tanah. Bahan pencemar dapat masuk ke dalam tanah melalui berbagai sumber, antara lain input pertanian, aplikasi produk samping atau limbah ke lahan, deposisi atmosfer, air banjir dan air irigasi, tumpahan bahan kimia secara tidak sengaja, pengelolaan limbah padat dan air limbah perkotaan yang tidak memadai, serta berbagai sumber lainnya. Dampak negatif yang ditimbulkan dapat berupa keracunan pada tanaman yang menyebabkan penurunan produktivitas, pencemaran air dan wilayah di luar lokasi melalui perpindahan sedimen, serta meningkatnya risiko gangguan kesehatan manusia dan hewan akibat akumulasi bahan pencemar dalam rantai makanan.
8. **Melestarikan dan meningkatkan keanekaragaman hayati tanah** untuk mendukung berbagai proses biologis yang berperan dalam menjaga kesehatan dan fungsi tanah. Tanah merupakan salah satu habitat dengan tingkat keanekaragaman hayati terbesar di bumi. Berbagai organisme yang hidup di dalam tanah memiliki peran penting dalam menjaga fungsi tanah dan

penyediaan berbagai jasa ekosistem. Organisme tersebut terlibat dalam proses dekomposisi bahan organik, siklus unsur hara, pembentukan struktur tanah, penyimpanan karbon, pengaturan air, serta pengendalian alami terhadap organisme patogen. Hingga saat ini, tingkat keanekaragaman hayati yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi-fungsi utama tanah masih belum sepenuhnya dipahami. Namun, perkembangan berbagai teknik biokimia dan analisis DNA memberikan peluang besar untuk meningkatkan pemahaman mengenai hubungan antara keanekaragaman hayati tanah dan fungsi-fungsi tanah tersebut.

9. **Meminimalkan penyegelan tanah (*soil sealing*)** melalui perencanaan tata guna lahan yang bijaksana sehingga fungsi alami tanah tetap terjaga dan tidak hilang akibat pembangunan atau penutupan permukaan tanah secara permanen. Hal ini dikarenakan konversi lahan dan penutupan permukaan tanah (*soil sealing*) yang terjadi akibat pembangunan pemukiman dan infrastruktur merupakan salah satu ancaman utama terhadap keberlanjutan sumber daya tanah. Namun, dampaknya menjadi perhatian khusus pada tanah-tanah produktif yang dapat diolah (*arable soils*) yang memiliki potensi tinggi untuk produksi pangan, ketahanan pangan dan gizi, serta pencapaian tujuan ekonomi sirkular. Penutupan permukaan tanah dan konversi lahan menyebabkan hilangnya sebagian atau seluruh fungsi tanah serta jasa ekosistem yang disediakannya, dan kehilangan tersebut pada umumnya bersifat sulit atau bahkan tidak dapat dipulihkan kembali.
10. **Mencegah dan meminimalkan pengasaman tanah (*acidification*)**. Pengasaman tanah merupakan salah satu bentuk degradasi kimia yang ditandai oleh penurunan pH tanah hingga mencapai tingkat yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan menurunkan produktivitas lahan. Proses ini dapat

disebabkan oleh aktivitas manusia terutama berkaitan dengan hilangnya kation-kation basa dan berkurangnya kapasitas penyangga (*buffering capacity*) tanah akibat panen pencucian, dan erosi. Selain itu, meningkatnya masukan nitrogen dan sulfur ke dalam tanah akibat penggunaan pupuk secara intensif, deposisi atmosfer yang mengandung nitrogen dan sulfur, serta perubahan penggunaan lahan dapat meningkatkan laju pengasaman tanah.

3.4 Strategi dan Pendekatan Pengelolaan Tanah Berkelanjutan

3.4.1 Pertanian Konservasi (*Conservation Agriculture*)

Berbagai strategi telah dikembangkan untuk mengatasi degradasi tanah yang disebabkan oleh erosi, penurunan bahan organik, dan kerusakan struktur tanah. Salah satu pendekatan yang telah banyak diterapkan dalam pengelolaan tanah berkelanjutan adalah pertanian konservasi (*Coservation Agriculture*). Menurut FAO (2018), pertanian konservasi adalah pendekatan untuk mengelola agroekosistem yang bertujuan meningkatkan dan mempertahankan produktivitas pertanian, meningkatkan keuntungan usaha tani, memperkuat ketahanan pangan, serta melestarikan sumber daya alam dan kualitas lingkungan.

Pertanian konservasi dicirikan oleh tiga prinsip yang saling terkait:

1. Gangguan mekanis tanah yang minimal atau tanpa pengolahan tanah (*minimum mechanical soil disturbance*), melalui penerapan olah tanah minimum (*minimum tillage*) atau tanpa olah tanah (*no-tillage*).

2. Pemeliharaan penutup tanah organik secara permanen (*permanent organic soil cover*), baik melalui pemanfaatan sisa tanaman, mulsa, maupun tanaman penutup tanah (*cover crops*).
3. Diversifikasi spesies tanaman (*species diversification*) yang dilakukan melalui rotasi tanaman, tumpangsari, atau kombinasi tanaman semusim dan tahunan.

Penerapan ketiga prinsip tersebut secara terpadu telah berkontribusi terhadap perbaikan struktur tanah, pengurangan kehilangan tanah akibat erosi, peningkatan kandungan karbon organik tanah, serta peningkatan keanekaragaman hayati (Ogunjinmi *et al.*, 2025). Hal ini menjadikan pertanian konservasi dipandang menjadi paradigma baru dalam pertanian berkelanjutan yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan kualitas lingkungan secara menyeluruh. Selain itu, pendekatan ini juga digunakan sebagai strategi dalam menghadapi perubahan iklim dan tekanan produksi pangan global, karena mampu meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya seperti air, energi, dan input produksi, sekaligus mempertahankan produktivitas lahan dalam jangka panjang (Friedrich *et al.*, 2012).

3.4.2 Pengelolaan Bahan Organik Terpadu

Bahan organik tanah (BOT) merupakan komponen penting yang mengendalikan berbagai fungsi tanah dan jasa ekosistem yang dihasilkannya. Mempertahankan dan meningkatkan kandungan bahan organik tanah adalah salah satu aspek mendasar dalam manajemen tanah berkelanjutan melalui perannya dalam memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Dekomposisi bahan organik oleh organisme tanah menjadi dasar berlangsungnya berbagai proses biologis,

termasuk mineralisasi unsur hara. Bahan organik juga berperan dalam pembentukan agregat tanah yang stabil, memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aerasi, serta meningkatkan kapasitas tanah dalam menahan air. Selain itu, bahan organik berfungsi sebagai sumber energi bagi mikroorganisme tanah yang berperan dalam dekomposisi bahan organik dan siklus hara (Bhogal *et al.*, 2024; Rathore & Joshi, 2024).

Praktik-praktik pengelolaan yang mampu meningkatkan kualitas tanah dalam jangka panjang umumnya melibatkan upaya untuk mempertahankan atau meningkatkan kandungan bahan organik tanah. Pengelolaan bahan organik dapat dilakukan melalui penambahan kompos, pupuk kandang, pupuk hijau, biochar, maupun pengembalian sisa tanaman ke lahan.

3.4.3 Rotasi Tanaman dan Diversifikasi Tanaman

Rotasi tanaman merupakan praktik budidaya yang dilakukan dengan menanam berbagai jenis tanaman secara bergilir pada lahan yang sama dalam periode tertentu. Sistem ini bertujuan untuk memutus siklus hama dan penyakit, meningkatkan efisiensi penggunaan unsur hara, serta menjaga keseimbangan ekosistem tanah. Selain itu, rotasi tanaman juga berkontribusi terhadap perbaikan kualitas tanah melalui keberagaman sistem perakaran dan variasi masukan bahan organik yang dihasilkan oleh setiap jenis tanaman. Keanekaragaman tersebut mendukung pembentukan struktur tanah yang lebih baik, meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah, serta memperkuat fungsi biologis dan ekologis tanah (Rathore & Joshi, 2024).

Rotasi tanaman merupakan salah satu bentuk diversifikasi tanaman (*crop diversity*) yang berperan penting dalam menjaga produktivitas tanah dalam

jangka panjang. Diversifikasi tanaman dapat diwujudkan melalui rotasi tanaman, tumpangsari, penggunaan tanaman penutup tanah (*cover crops*), maupun integrasi tanaman tahunan dan semusim dalam sistem agroforestri. Berbeda dengan sistem monokultur, sistem pertanaman yang beragam mampu meningkatkan efisiensi siklus hara, memperbaiki struktur tanah, dan memperkuat fungsi biologis tanah.

Tanaman legum seperti kedelai, kacang tanah, dan kacang hijau sering dimasukkan dalam pola rotasi tanaman karena memiliki kemampuan menambat nitrogen dari udara melalui simbiosis dengan bakteri *Rhizobium*. Nitrogen yang terakumulasi dalam tanah dapat dimanfaatkan oleh tanaman berikutnya sehingga kebutuhan pupuk nitrogen dapat dikurangi. Selain melalui rotasi tanaman, diversifikasi juga dapat diterapkan dalam sistem pertanaman lorong (*alley cropping*) yang memanfaatkan pohon-pohon leguminosa. Pohon legum memiliki kemampuan fiksasi nitrogen biologis dan menghasilkan biomassa yang dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah. Keberadaan barisan pohon juga berfungsi sebagai penahan aliran permukaan, penyaring sedimen dan residu pestisida, serta pengatur iklim mikro melalui pengurangan suhu dan kecepatan angin (Roussis & Kakabouki, 2024).

3.4.4 Penggunaan Tanaman Penutup Tanah

Tanaman penutup tanah (*cover crops*) merupakan salah satu praktik penting dalam manajemen tanah berkelanjutan yang dilakukan dengan menanam jenis tanaman tertentu dengan tujuan untuk melindungi permukaan tanah dari dampak langsung hujan dan radiasi matahari. Tanaman penutup tanah lebih banyak berkontribusi untuk kesehatan dan konservasi tanah,

seperti erosi akibat air dan angin. Selain itu, *cover crops* juga membantu menekan pertumbuhan gulma melalui kompetisi dalam memanfaatkan cahaya, air, ruang tumbuh, dan unsur hara, sehingga kebutuhan penggunaan herbisida dapat dikurangi (Rathore & Joshi, 2024).

Tanaman ini biasanya digunakan pada lahan perkebunan, lahan miring, maupun lahan yang sedang tidak ditanami tanaman utama. Beberapa jenis *cover crops* dari kelompok leguminosa mampu memfiksasi nitrogen atmosfer sehingga berkontribusi terhadap peningkatan kesuburan tanah. Biomassa yang dihasilkan tanaman penutup tanah juga menjadi sumber bahan organik yang penting bagi perbaikan struktur tanah, peningkatan kapasitas menahan air, serta peningkatan aktivitas mikroorganisme tanah (Ogunjinmi *et al.*, 2025).

3.4.5 Agroforestri

Agroforestri merupakan sistem penggunaan lahan yang mengintegrasikan pohon (tanaman kehutanan) atau semak dengan tanaman pertanian dan/atau peternakan dalam satu unit pengelolaan lahan. Sistem ini memberikan berbagai manfaat bagi keberlanjutan sumber daya tanah, melalui interaksi yang saling mendukung antara komponen vegetasi yang berbeda. Keberadaan pohon dalam sistem agroforestri mampu mengurangi erosi tanah, memperbaiki struktur tanah, mencegah pemadatan tanah, serta meningkatkan aerasi dan infiltrasi air melalui fungsi perakaran dan tajuk pohon (Rathore & Joshi, 2024).

Selain memperbaiki sifat fisik tanah, agroforestri juga berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah melalui perbaikan siklus hara dan penambahan bahan organik berasal dari serasah dan akar. Masukan bahan

organik tersebut mendukung aktivitas organisme tanah, meningkatkan karbon organik tanah, serta memperkuat ketahanan ekosistem pertanian terhadap berbagai tekanan lingkungan (Ogunjinmi *et al.*, 2025).

Integrasi antara pohon dan tanaman pertanian dalam sistem agroforestri juga berkontribusi terhadap kesehatan tanah serta menciptakan bentang lahan sebagai strategi konservasi sumber daya tanah dan lingkungan yang mendukung pembangunan pertanian berkelanjutan. Penerapan pengelolaan lahan dengan sistem agroforestri terbukti mampu meningkatkan produksi biomassa, memperbaiki kualitas tanah, serta meningkatkan kapasitas sistem pertanian dalam menghadapi perubahan iklim. Selain itu, praktik agroforestri juga mendukung berbagai jasa ekosistem tanah, seperti menyediakan unsur hara, penyimpanan karbon, pengaturan tata air, dan pemeliharaan keanekaragaman hayati (Mason *et al.*, 2023).

3.4.6 Pemupukan Berimbang

Pemupukan berimbang merupakan pemberian unsur hara sesuai kebutuhan tanaman dan kondisi tanah. Praktik pemupukan berimbang dilakukan melalui penerapan analisis tanah, perencanaan pemupukan, serta penggunaan teknologi pertanian presisi untuk memastikan unsur hara diberikan pada lokasi dan waktu yang paling sesuai dengan kebutuhan tanaman. Prinsip efisiensi penggunaan pupuk digunakan agar produktivitas tanaman meningkat tanpa menimbulkan pencemaran lingkungan. Hal ini dikarenakan penggunaan pupuk yang tidak tepat, baik dalam jumlah maupun waktu aplikasi, dapat menyebabkan ketidakseimbangan hara, penurunan kualitas tanah, dan pencemaran sumber daya air (Rathore & Joshi, 2024).

Konsep pemupukan modern mengacu pada prinsip 4T, yaitu tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, dan tepat cara aplikasi. Dengan demikian, kehilangan unsur hara melalui pencucian, penguapan, atau limpasan dapat diminimalkan sehingga efisiensi pemupukan meningkat.

DAFTAR PUSTAKA

- AbdelRahman, M. A. E. (2023). An overview of land degradation, desertification and sustainable land management using GIS and remote sensing applications. In *Rendiconti Lincei. Scienze Fisiche e Naturali* (Vol. 34). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s12210-023-01155-3>
- Bhokal, A., Griffiths, O., Lewis-Reddy, L., Newell-Price, P., Nicholson, F., & Williams, J. (2024). *Review of Evidence: Sustainable Management of Soils in England*. Office for Environmental Protection (OEP).
- FAO. (2017). *Voluntary Guidelines for Sustainable Soil Management*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO, & ITPS. (2015). *Status of World's Soil Resources (SWSR) - Main Report*. Food and Agriculture Organization of the United Nations dan Intergovernmental Technical Panel on Soils.
- Friedrich, T., Derpsch, R., & Kassam, A. (2012). Overview of the Global Spread of Conservation Agriculture. *Field Actions Science Reports*, 6.
- Hou, D., Bolan, N. S., Tsang, D. C. W., Kirkham, M. B., & O'Connor, D. (2020). Sustainable soil use and management: An interdisciplinary and systematic approach. *Science of the Total Environment*, 729, 138961. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138961>

- Jaworski, C. C., Krzywoszynska, A., Leake, J. R., & Dicks, L. V. (2024). Sustainable soil management in the United Kingdom: A survey of current practices and how they relate to the principles of regenerative agriculture. *Soil Use and Management*, 40, 1–20. <https://doi.org/10.1111/sum.12908>
- Jayaraman, S., Dalal, R. C., Patra, A. K., & Lal, R. (2023). Sustainable Soil Management: Challanges Prospects and Benefits. In *Sustainable Soil Management: Beyond Food Production*. Cambridge Scholars Publishing.
- Lal, R. (2015). Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation. *Sustainability*, 7, 5875–5895. <https://doi.org/10.3390/su7055875>
- Mason, E., Bispo, A., Matt, M., Helming, K., Rodriguez, E., Lansac, R., Carrasco, V., Hashar, M. R., Verdonk, L., Prokop, G., Wall, D., Francis, N., Laszlo, P., & Löbmann, M. T. (2023). Sustainable soil and land management : a systems- oriented overview of scientific literature. *Frontiers in Soil Science*, December, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fsoil.2023.1268037>
- McBratney, A., Field, D. J., & Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213, 203–213. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2013.08.013>
- Ogunjinmi, D. T., Omobusuyi, P. O., Idowu, T. O., Ajayi, O. A., Akinrinola, T. B., & Abdulsalam, S. O. (2025). Sustainable Soil Management: A Challenge for Sustainable Agriculture in Tropical Regions. *New York Science Journal*, 18(10), 1–8. <https://doi.org/10.7537/marsnys181025.01>
- Rathore, B. S., & Joshi, D. (2024). Sustainable Soil Management Practices. *Current Trends in Soil Science: Challanges and Innovations for Effective Ecosystem Management*, 4, 40–50.

- Roussis, I., & Kakabouki, I. (2024). Sustainable Soil Management and Crop Production Research. *Sustainability*, 16, 8830. <https://doi.org/10.3390/su16208830>
- Steinfeld, H., Gerber, T., Wassenaar, V. C., Rosales, M., & de Haan, C. (2006). *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- UN. (2016). *Principles for Sustainable Soil Management*. United Nations Global Compact.

BAB 4

KEBUTUHAN AIR UNTUK PERTANIAN DAN INDUSTRI

Oleh Yanieta Arbiastutie

4.1 Manfaat Air

Air merupakan sumber daya alam paling vital bagi kehidupan manusia, tanaman, hewan, dan ekosistem secara keseluruhan (Desti dan Ula, 2021). Keberadaannya memengaruhi kualitas hidup, produktivitas pertanian, dan keberlangsungan industri. Setiap proses biologis, mulai dari fotosintesis pada tanaman hingga metabolisme manusia, bergantung pada keberadaan air. Tanpa air yang cukup, tanaman gagal tumbuh, hasil panen menurun, dan keseimbangan ekosistem terganggu. Di era globalisasi, tekanan terhadap ketersediaan air semakin meningkat. Pertumbuhan populasi yang cepat, urbanisasi yang pesat, dan ekspansi industri meningkatkan permintaan air, sementara pencemaran dan perubahan iklim mengurangi ketersediaan air bersih (Sari *et al.*, 2024).

Manfaat air dapat dipandang dari berbagai aspek. Dari sisi manusia, air adalah kebutuhan dasar untuk minum, memasak, mandi, dan menjaga kebersihan. Kekurangan air dapat menimbulkan penyakit akibat bakteri atau virus, menurunkan kesehatan masyarakat, dan mempengaruhi produktivitas ekonomi. Dalam pertanian, air menjadi faktor

utama keberhasilan tanaman. Air mendukung fotosintesis, pertumbuhan vegetatif, dan pembentukan buah dan biji. Kekurangan air tidak hanya mengurangi jumlah hasil panen tetapi juga menurunkan kualitas tanaman, sehingga berdampak pada ketahanan pangan (Zebua *et al.*, 2026).

Dalam industri, air digunakan sebagai bahan baku, media pendingin, pelarut, dan bagian penting dari proses produksi. Industri makanan, tekstil, kertas, energi, dan kimia sangat bergantung pada pasokan air yang stabil. Contohnya, produksi 1 ton tekstil memerlukan $\pm 200 \text{ m}^3$ air, sementara 1 ton baja $\pm 1,9 \text{ m}^3$ air. Air juga mendukung ekosistem di sekitar area industri dan pertanian, menjaga kualitas tanah, menghidupkan sungai, dan mendukung keanekaragaman hayati (Utami *et al.*, 2025).

Konsep jejak air (*water footprint*) membantu memahami penggunaan air secara menyeluruh. Air yang digunakan langsung hanya sebagian kecil dari total kebutuhan, sementara air virtual air yang terserap dalam produksi makanan, pakaian, dan produk industri mempengaruhi tekanan terhadap sumber daya air global (Reshmi *et al.*, 2024).

4.2 Kebutuhan Air dalam Pertanian

4.2.1 Kebutuhan Air dalam Pertanian

Setiap tanaman memiliki kebutuhan air berbeda, tergantung fase pertumbuhan, jenis tanah, dan kondisi iklim. Tanaman lahan kering, seperti jagung, kacang-kacangan, dan sorgum, bergantung pada curah hujan, sementara tanaman irigasi seperti padi dan sayuran memerlukan suplai air kontinu. Kekurangan air pada fase awal pertumbuhan menghambat perkecambahan, mengurangi jumlah tunas, dan meningkatkan risiko

gagal panen. Selama fase vegetatif, air berperan sebagai medium transportasi nutrisi dan mendukung fotosintesis. Pada fase generatif, air menentukan kualitas dan kuantitas hasil panen (Rivandy *et al.*, 2024).

Evapotranspirasi (ET_c) adalah indikator gabungan kehilangan air melalui penguapan dari tanah dan transpirasi dari tanaman. Menghitung ET_c membantu petani menentukan jumlah air yang dibutuhkan setiap fase pertumbuhan. Selain kebutuhan kuantitatif, kualitas air juga penting. Air yang mengandung kadar garam tinggi atau bahan kimia berbahaya dapat merusak tanaman dan menurunkan produktivitas. Oleh karena itu, pemantauan kualitas air menjadi bagian dari manajemen pertanian modern (Syahputra *et al.*, 2025).

4.2.2 Kebutuhan Air dalam Pertanian

Sistem irigasi merupakan salah satu faktor kunci dalam menentukan efisiensi penggunaan air dan produktivitas pertanian. Pemilihan metode irigasi yang tepat tidak hanya bergantung pada jenis tanaman, kondisi tanah, dan topografi lahan, tetapi juga pada ketersediaan sumber daya air dan kapasitas teknologi yang digunakan oleh petani. Irigasi yang efisien memungkinkan tanaman mendapatkan pasokan air optimal pada fase-fase penting pertumbuhan, sekaligus mengurangi pemborosan air melalui evaporasi, infiltrasi yang tidak terkendali, atau limpasan permukaan yang sia-sia.

Beberapa metode irigasi utama yang diterapkan di pertanian Indonesia dan dunia meliputi (Priyonggo *et al.*, 2025):

1. Irigasi Permukaan

Irigasi permukaan adalah metode tradisional yang menyalurkan air melalui parit atau selokan terbuka.

Metode ini relatif murah dan sederhana, mudah diterapkan di lahan datar atau sawah tadah hujan. Namun, irigasi permukaan memiliki efisiensi rendah karena sebagian air hilang akibat evaporasi langsung ke atmosfer atau infiltrasi yang tidak merata. Lahan dengan kemiringan tertentu juga berisiko erosi, sehingga memerlukan desain saluran yang baik untuk mengurangi kehilangan air.

2. Irigasi Curah (*Sprinkler*)

Sistem irigasi semprot menyalurkan air melalui nozzle atau sprayer sehingga menyebar seperti hujan buatan. Keunggulan metode ini adalah distribusi air yang merata, sehingga cocok untuk lahan bergelombang atau perkebunan hortikultura yang membutuhkan kelembaban seragam. Namun, irigasi semprot memiliki beberapa kelemahan, seperti kehilangan air akibat evaporasi saat cuaca panas dan biaya investasi awal yang lebih tinggi dibanding irigasi permukaan. Dalam kondisi angin kencang, arah semprotan dapat berubah sehingga efisiensi air menurun.

3. Irigasi Tetes (*Drip*)

Irigasi tetes adalah metode modern yang menyalurkan air langsung ke zona akar tanaman melalui pipa atau selang kecil. Sistem ini memiliki efisiensi tinggi karena air diberikan tepat di titik yang dibutuhkan tanaman, mengurangi kehilangan akibat evaporasi dan limpasan. Irigasi tetes terbukti dapat menghemat air antara 30–50% dibandingkan irigasi permukaan, serta meningkatkan hasil panen karena tanaman mendapatkan suplai air yang konsisten. Sistem ini sangat cocok untuk tanaman hortikultura, padi intensif, atau perkebunan yang membutuhkan kontrol kelembaban presisi.

4. Irigasi Bawah Permukaan (*Subsurface Irrigation*)

Metode irigasi bawah permukaan menyalurkan air melalui pipa yang ditanam di bawah permukaan tanah, sehingga langsung mencapai akar tanaman. Efisiensi air maksimal dapat dicapai karena evaporasi di permukaan hampir nol dan distribusi air merata ke seluruh zona akar. Namun, instalasi sistem ini cukup rumit dan membutuhkan biaya investasi yang tinggi, sehingga lebih cocok untuk pertanian skala besar atau lahan yang terintegrasi dengan teknologi presisi tinggi.

Selain pemilihan metode irigasi, teknologi modern telah meningkatkan efisiensi penggunaan air secara signifikan. Penggunaan sensor kelembaban tanah, sistem kontrol otomatis, dan fertigasi gabungan irigasi dengan pupuk memungkinkan petani memonitor kondisi tanah secara real-time dan menyesuaikan pasokan air dengan kebutuhan tanaman. Dengan teknologi ini, efisiensi air dapat meningkat hingga 60–70%, sehingga air yang terbatas dapat digunakan secara optimal tanpa mengurangi hasil panen.

Penerapan irigasi efisien juga harus mempertimbangkan aspek lingkungan. Sistem irigasi yang tepat dapat mengurangi tekanan pada sumber air lokal, mencegah erosi dan menjaga kualitas tanah. Misalnya, penggunaan irigasi tetes dikombinasikan dengan mulsa organik membantu mempertahankan kelembaban tanah, mengurangi evaporasi, dan memperbaiki struktur tanah. Selain itu, integrasi konservasi air dengan penampungan air hujan atau penggunaan air limbah yang telah diolah dapat menjadi solusi di daerah dengan ketersediaan air terbatas.

4.2.3 Konservasi Air dalam Pertanian

Konservasi air merupakan salah satu aspek paling penting dalam pertanian berkelanjutan. Dengan semakin berkurangnya ketersediaan air akibat tekanan populasi, urbanisasi, dan perubahan iklim, pengelolaan air yang efisien menjadi kebutuhan mendesak. Konservasi air tidak hanya bertujuan untuk menghemat sumber daya, tetapi juga untuk menjaga kesuburan tanah, mencegah erosi, dan meningkatkan produktivitas tanaman. Strategi konservasi air harus menasar berbagai aspek, mulai dari desain lahan, teknik irigasi, pemilihan tanaman, hingga penggunaan teknologi modern (Abdillah *et al.*, 2025).

Salah satu metode konservasi yang efektif adalah penggunaan mulsa dan tutupan tanah. Mulsa organik atau sintetis dapat menutup permukaan tanah sehingga mengurangi evaporasi, menjaga kelembaban tanah lebih lama, dan menekan pertumbuhan gulma. Selain itu, mulsa membantu mempertahankan suhu tanah yang stabil, yang penting untuk pertumbuhan akar dan aktivitas mikroba tanah. Teknik ini sangat efektif pada lahan hortikultura dan tanaman semusim yang membutuhkan kelembaban tinggi, seperti sayuran dan padi (Abdillah *et al.*, 2025).

Terasering dan parit infiltrasi merupakan metode konservasi yang diterapkan pada lahan miring atau daerah dengan curah hujan tinggi. Terasering membantu menahan air hujan agar tidak langsung mengalir ke sungai, meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah, dan mengurangi risiko erosi. Parit infiltrasi yang dibangun secara strategis di sepanjang kontur lahan memaksimalkan penyerapan air, sehingga cadangan air tanah tetap terjaga. Di daerah-daerah pertanian di Jawa Tengah dan Jawa Timur, penerapan teknik ini telah

terbukti menurunkan kehilangan air permukaan hingga 30% dan meningkatkan ketersediaan air untuk irigasi sepanjang musim kemarau (Abdillah *et al.*, 2025).

Pemanfaatan air limbah yang telah diolah juga menjadi solusi penting dalam konservasi air. Air limbah domestik atau industri yang diolah dapat digunakan kembali untuk irigasi tanaman, sehingga mengurangi tekanan pada sumber air bersih. Contoh nyata dapat ditemukan di perkebunan kelapa sawit di Sumatera Utara, di mana penggunaan air limbah yang diolah berhasil menekan konsumsi air bersih hingga 40% tanpa menurunkan produktivitas tanaman. Strategi ini tidak hanya menghemat air, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan dari limbah (Abdillah *et al.*, 2025).

Pemilihan tanaman tahan kekeringan adalah pendekatan tambahan untuk konservasi air. Tanaman seperti sorgum, millet, dan jagung varietas kering dapat bertahan pada kondisi kekurangan air, sehingga cocok ditanam di daerah rawan kekeringan atau lahan marginal. Kombinasi tanaman tahan kekeringan dan teknik irigasi efisien memungkinkan petani tetap memperoleh hasil panen yang optimal meskipun pasokan air terbatas (Abdillah *et al.*, 2025).

Teknologi modern, seperti sensor kelembaban tanah, irigasi tetes otomatis, dan fertigasi, semakin memperkuat konservasi air. Sensor kelembaban tanah memungkinkan pemantauan kondisi kelembaban secara real-time, sehingga irigasi hanya dilakukan saat tanaman membutuhkannya. Fertigasi menggabungkan pemupukan dengan irigasi, sehingga nutrisi dan air diberikan secara optimal ke akar tanaman. Dengan teknologi ini, efisiensi air dapat meningkat hingga 60–70%, sekaligus mengurangi risiko kelebihan atau kekurangan air (Abdillah *et al.*, 2025).

Konservasi air juga memiliki manfaat jangka panjang terhadap kesuburan tanah dan lingkungan. Air yang terserap optimal membantu mempertahankan aktivitas mikroba tanah, memperbaiki struktur tanah, dan menjaga kapasitas infiltrasi. Ini mencegah degradasi lahan, meningkatkan kualitas hasil pertanian, dan menjaga keberlanjutan ekosistem di sekitar lahan pertanian. Dalam konteks global, konservasi air juga membantu menghadapi tekanan perubahan iklim, mengurangi risiko kekeringan, dan mendukung ketahanan pangan secara berkelanjutan (Abdillah *et al.*, 2025).

4.3 Kebutuhan Air dalam Industri

4.3.1 Permintaan Air di Sektor Industri

Air menjadi bagian integral dalam hampir semua jenis industri modern. Dalam industri makanan dan minuman, air digunakan untuk mencuci bahan baku, proses produksi, pengolahan, serta sanitasi fasilitas. Industri tekstil menggunakan air dalam pencucian serat, pewarnaan kain, dan proses finishing, sementara industri kertas dan pulp menggunakan air untuk melarutkan pulp dan proses pemutihan. Bahkan sektor energi sangat tergantung pada air, terutama pembangkit listrik yang menggunakan air sebagai pendingin dan untuk menghasilkan uap sebagai energi (Pratiknyo, 2016).

Kebutuhan air industri sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa manajemen air di sektor industri tidak hanya berdampak pada efisiensi operasional tetapi juga pada lingkungan dan ketersediaan air bagi sektor lain seperti pertanian. Ketidakmampuan industri dalam mengelola air dapat menimbulkan krisis air lokal,

mengurangi produktivitas pertanian, dan meningkatkan risiko sosial-ekonomi (Pratiknyo, 2016).

4.3.2 Manajemen Air Industri

Manajemen air dalam industri adalah salah satu aspek penting untuk menjaga efisiensi operasional, mengurangi biaya, dan meminimalkan dampak lingkungan. Air digunakan dalam berbagai tahap proses industri, mulai dari pencucian bahan baku, pendinginan mesin, proses kimia, hingga pengolahan produk akhir. Penggunaan air yang tidak efisien dapat menyebabkan pemborosan, meningkatkan risiko pencemaran, dan menimbulkan konflik dengan sektor pertanian atau masyarakat sekitar (Rangkuti *et al.*, 2021).

Prinsip utama manajemen air industri adalah 3R: Reduce, Reuse, dan Recycle. Reduce berarti mengurangi penggunaan air di setiap tahap produksi melalui desain proses yang hemat air, perbaikan sistem pipa, dan pengaturan aliran. Reuse adalah penggunaan kembali air untuk keperluan sekunder, misalnya air pendingin dapat digunakan kembali untuk proses yang membutuhkan volume air lebih rendah. Recycle adalah pengolahan air limbah agar dapat digunakan kembali untuk proses industri atau irigasi pertanian. Dengan menerapkan prinsip ini secara terpadu, industri dapat menghemat hingga 40–60% penggunaan air (Rangkuti *et al.*, 2021).

Teknologi modern semakin memudahkan manajemen air industri. Sistem pendingin tertutup mengurangi kebutuhan air untuk pendinginan mesin atau boiler, karena air dikembalikan ke sirkuit tanpa dibuang ke lingkungan. Pemulihan kondensat dari uap panas dapat digunakan kembali sebagai air proses atau untuk pendinginan, sehingga mengurangi kebutuhan air tambahan. Sensor aliran air, meter digital, dan kontrol

otomatis memungkinkan pemantauan penggunaan air secara real-time, membantu mengidentifikasi kebocoran, pemborosan, dan ketidakefisienan dalam sistem produksi (Rangkuti *et al.*, 2021).

Selain itu, manajemen air industri juga harus memperhatikan kualitas air yang digunakan. Air yang terlalu keras, tercemar, atau memiliki kontaminan kimia dapat merusak mesin, mengurangi efisiensi proses, dan menimbulkan limbah berbahaya. Pengolahan air sebelum digunakan, termasuk filtrasi, demineralisasi, atau penyesuaian pH, menjadi langkah penting untuk menjaga kualitas air sesuai standar produksi dan lingkungan.

Studi kasus menunjukkan manfaat nyata manajemen air yang baik. Di industri tekstil Surabaya, penerapan sistem recycle air limbah pewarnaan mampu mengurangi konsumsi air bersih hingga 50%, sekaligus menurunkan biaya operasional dan meminimalkan pencemaran sungai. Di sektor makanan dan minuman di Jawa Barat, pemanfaatan air kondensat boiler untuk pencucian mesin dan irigasi hortikultura lokal meningkatkan efisiensi air sekaligus mendukung ketahanan air komunitas sekitar.

Manajemen air industri juga berperan dalam keberlanjutan lingkungan jangka panjang. Pengelolaan air yang baik mengurangi tekanan terhadap sumber air lokal, menurunkan risiko konflik dengan pertanian dan masyarakat, serta mendukung penerapan regulasi lingkungan. Industri yang menerapkan manajemen air efisien bukan hanya menghemat biaya dan sumber daya, tetapi juga meningkatkan reputasi dan tanggung jawab sosial perusahaan (Rangkuti *et al.*, 2021).

Dalam era modern, integrasi antara teknologi, prinsip 3R, pemantauan digital, dan strategi konservasi menjadi kunci keberhasilan manajemen air industri. Industri yang adaptif dan inovatif dalam mengelola air mampu menghadapi tantangan kekurangan air, perubahan iklim, dan permintaan produksi yang meningkat, sehingga operasional tetap efisien, produktif, dan berkelanjutan.

4.3.3 Integrasi Pertanian dan Industri

Integrasi antara sektor pertanian dan industri dalam pengelolaan air merupakan pendekatan strategis untuk mencapai keberlanjutan sumber daya dan produktivitas ekonomi. Dalam banyak kasus, industri dan pertanian bersaing untuk sumber air yang sama, seperti sungai, danau, atau air tanah. Tanpa koordinasi, penggunaan air yang tidak terkendali dapat mengakibatkan kekurangan bagi sektor lain, menurunkan produktivitas pertanian, dan meningkatkan risiko sosial-ekonomi di masyarakat sekitar (Wahyuti *et al.*, 2025).

Pendekatan integrasi memerlukan perencanaan terpadu yang menggabungkan kebutuhan air pertanian dan industri. Misalnya, industri yang menghasilkan limbah air yang telah diolah dapat menyediakan air daur ulang untuk irigasi pertanian. Hal ini tidak hanya mengurangi konsumsi air bersih, tetapi juga membantu petani mempertahankan hasil panen pada musim kemarau. Sebaliknya, pertanian yang menggunakan sistem irigasi efisien dan menahan air hujan dapat mengurangi tekanan pasokan air untuk industri di daerah yang sama (Wahyuti *et al.*, 2025).

Teknologi modern semakin mempermudah integrasi ini. Sistem pemantauan air terpadu, sensor aliran, dan kontrol digital memungkinkan pengelolaan air secara real-time, sehingga distribusi air dapat disesuaikan dengan prioritas kebutuhan sektor pertanian dan industri. Fertigasi atau sistem irigasi presisi di pertanian dapat dikombinasikan dengan pemanfaatan air daur ulang dari industri untuk menciptakan sinergi yang efisien (Wahyuti *et al.*, 2025).

Beberapa studi kasus di Indonesia menunjukkan keberhasilan integrasi ini. Di Jawa Tengah, industri pengolahan makanan menyediakan air limbah yang telah diolah untuk lahan pertanian hortikultura, sehingga petani tetap mendapatkan suplai air yang cukup selama musim kemarau. Di Sumatera Utara, perkebunan kelapa sawit dan pabrik pengolahan minyak sawit bekerja sama melalui sistem air sirkulasi tertutup, mengurangi penggunaan air bersih hingga 40% sambil menjaga produktivitas kedua sektor. Di Surabaya, industri tekstil menggunakan air limbah yang diolah untuk irigasi taman kota dan perkebunan lokal, mengurangi tekanan pada pasokan air bersih dan mendukung keberlanjutan lingkungan.

Integrasi pertanian dan industri tidak hanya berdampak pada efisiensi air, tetapi juga membawa manfaat ekonomi dan sosial. Petani mendapatkan akses ke air tambahan, yang meningkatkan hasil panen dan pendapatan, sementara industri dapat mengurangi biaya operasional dan memenuhi regulasi lingkungan yang ketat. Di tingkat komunitas, integrasi ini memperkuat ketahanan air, mencegah konflik penggunaan air, dan menciptakan ekosistem yang lebih stabil (Wahyuti *et al.*, 2025).

Selain itu, kebijakan pemerintah memainkan peran penting dalam mendorong integrasi ini. Regulasi tentang alokasi air, standar kualitas air limbah, dan insentif bagi industri yang mendukung pertanian dapat mendorong praktik pengelolaan air yang adil dan berkelanjutan. Pendidikan dan pelatihan bagi petani dan manajer industri juga penting untuk memahami teknologi irigasi, pemanfaatan air limbah, dan praktik konservasi yang dapat diterapkan secara sinergis.

4.4 Dampak Kekurangan dan Pencemaran Air

Kekurangan dan pencemaran air memiliki dampak serius bagi pertanian, industri, dan masyarakat. Eksploitasi berlebihan terhadap sumur dan sungai menurunkan muka air tanah dan menyebabkan sumur kering. Pencemaran kimia dari limbah industri, pupuk, dan pestisida mengakibatkan eutrofikasi, menurunkan kualitas air, dan mengganggu kehidupan akuatik. Dampaknya langsung terlihat pada produktivitas pertanian yang menurun, kerusakan peralatan industri, dan meningkatnya biaya operasional (Farhan *et al.*, 2023).

Pencemaran air juga berdampak pada kesehatan masyarakat. Air yang terkontaminasi kimia atau mikroba dapat menimbulkan penyakit seperti diare, kolera, dan masalah kesehatan kronis. Oleh karena itu, perlindungan kualitas air menjadi sama pentingnya dengan konservasi kuantitas air (Pramaningsih *et al.*, 2023).

4.5 Strategi Perencanaan dan Keberlanjutan

Strategi perencanaan dan keberlanjutan bertujuan memastikan ketersediaan air yang cukup untuk pertanian, industri, masyarakat, dan ekosistem secara bersamaan.

Pendekatan ini menekankan pengelolaan air jangka panjang, konservasi, efisiensi, dan integrasi antar sektor, sehingga penggunaan air tetap optimal dan lingkungan tetap terjaga. Perencanaan air yang sistematis menjadi fondasi untuk menghadapi tekanan globalisasi, pertumbuhan populasi, urbanisasi, dan perubahan iklim.

Penerapan *Integrated Water Resources Management* (IWRM) merupakan salah satu strategi utama. IWRM memastikan distribusi air yang adil antara pertanian, industri, dan domestik, sekaligus menjaga kualitas air dan kebutuhan ekologis. Perencanaan dilakukan dengan memperhatikan aliran sungai, kapasitas waduk, musim hujan dan kemarau, serta keseimbangan ekosistem (Arisanto dan Prasetyo, 2020).

Konservasi air dan adaptasi terhadap perubahan iklim menjadi bagian integral strategi perencanaan. Penggunaan irigasi presisi, penampungan air hujan, dan pemanfaatan air limbah yang diolah membantu mempertahankan cadangan air selama musim kering. Perencanaan adaptif juga mencakup skenario kekeringan atau banjir, sehingga pemerintah, petani, dan pelaku industri dapat mempersiapkan langkah mitigasi dan distribusi air yang tepat (Efendi, 2024).

Kebijakan dan regulasi lingkungan mendukung implementasi strategi perencanaan. Standar penggunaan air, regulasi kualitas air limbah, serta insentif bagi praktik hemat air dan teknologi irigasi efisien mendorong sektor pertanian dan industri untuk beroperasi secara berkelanjutan. Pengawasan dan penegakan kebijakan ini menjadi kunci agar distribusi air adil dan ekosistem tetap terjaga.

Partisipasi masyarakat memainkan peran penting. Edukasi tentang hemat air, pemanfaatan air hujan, dan pengelolaan sumber daya lokal meningkatkan kesadaran dan keterlibatan masyarakat. Komunitas yang terlibat dalam

perencanaan air cenderung lebih patuh terhadap praktik berkelanjutan dan aktif menjaga ekosistem sekitar.

Secara keseluruhan, strategi perencanaan dan keberlanjutan menggabungkan perencanaan terpadu, teknologi, kebijakan, dan partisipasi masyarakat. Pendekatan ini memastikan air digunakan secara efisien, kualitas air tetap terjaga, produktivitas pertanian dan industri optimal, serta ekosistem terlindungi di tengah tekanan globalisasi dan perubahan iklim.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah MH., Purba T., Hartati TM., Aulia N., Pratiwi MPB., Palupi J., Prasetya R. Muhtar M., Konservasi Tanah dan Air. Aikomedia Press: Padang.
- Arisanto P., Prasetyo W., 2020. Menejemen Sumber Daya Air Dalam Konsep Iwrm Dalam Penanganan Resiko Banjir Dan Kekeringan. ORBITH. 16(1): 50-55.
- Desti I., dan Ula A., 2021. Analisis Sumber Daya Alam Air. Jurnal Sains Edukatika Indonesia. 3(2):17-24.
- Efendi Z., 2024. Strategi Pembangunan Berkelanjutan dalam Perencanaan Daerah untuk Menghadapi Perubahan Iklim Global. Indonesian Journal Of Research And Service Studies. 1(4): 198-209.
- Farhan A., Lauren CC., Fauzain NA., 2023., Analisis Faktor Pencemaran Air dan Dampak Pola Konsumsi Masyarakat di Indonesia., Jurnal Hukum dan HAM Wara Sains. 2(12):1095-1103.
- Pramaningsih V., Yuliawati R., Sukisman., Hansen., Suhelmi R., Daramusseng., 2023. Indek Kualitas Air dan Dampak terhadap Kesehatan Masyarakat Sekitar Sungai Karang Mumus, Samarinda. Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia. 22(3):313-319.
- Pratiknyo, P. (2016, November). Proyeksi ketersediaan dan kebutuhan air industri di Kabupaten Tangerang. Dalam Seminar Nasional Kebumihan XI (hlm. 352-359). Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta.
- Priyonggo b., Azizu MN., Annisa H., Agisaqma LO., Ali AM., Bachrun R., Damanik AP., Nugroho EO., Nirtha RI., 2025. Prinsip Dasar Irigasi dalam Pertanian. Yayasan Kita Menulis: Medan.

- Rangkuti EM., Abdullah I., Arif MA., Azim F., 2021. Manajemen Pengelolaan Air Bersih Di Kawasan Industri Medan. *Jurnal Manajemen dan Akuntansi Medan*. 3(2): 98-104.
- Reshmi R., Sanmathi KR., Remisha SR., Water Footprint: A Review Based on Concepts, Methods, and Implications. *International Journal of Innovative Research in Engineering*. 5(2): 249-253.
- Rivandy SI., Tripama B., Suroso B., 2024. Respon Pertumbuhan Dan Hasil Produksi Tanaman Melon (*Cucumis melo* L.) terhadap Level Dosis KNO₃ yang ditingkatkan pada Sistem Irigasi Tetes. *Journal of Agrotechnology Science*. 2(1):44-56.
- Sari F.F.A., Yolanda D., Rajib RK., 2024. Krisis Air Menangani Penyediaan Air Bersih di Dunia y.ang Semakin Kekurangan Sumber Daya. *Jurnal Ilmiah Research Student*. 1(5): 334-341.
- Syahputra WNH., Lazuardi AD., Wjayanto Y., Tanzil AI., 2025. Komparasi Metode Estimasi Evapotranspirasi Berbasis Cropwat dan Python. *Berkala Ilmiah Agroteknologi*. 13(2):50-56.
- Utami N.T., Apriyanto H., Ttuas MA., Costa MD., Mujiyanto H., Rahmayuni E., Putri CF., Nomi AG., Thoriq., Annashr NN., Maniuk AA., 2025. Kimia Lingkungan. *Lingkar Edukasi Indonesia: Padang Pariaman*.
- Wahyuti PY., Misbahuddin., Sukartono., Mayantika H., Integrasi Smart Agriculture untuk Peningkatan Penyimpanan Air dan Mitigasi Kekeringan. *Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*. 4(4): 7162-7168

Zebua CS., Dohona NH., Zebua AD., Hia A., Halawaa ANP., Waruwu BC., Zebua HP., 2026. Pengaruh Kekurangan Air Terhadap Transportasi Hara pada Tanaman Padi. Jurnal Ilmu Agroteknologi Indonesia . 2(1):46-51.

BAB 5

RESTORASI EKOSISTEM UNTUK KONSERVASI TANAH DAN AIR

Oleh Yosefina Mangera

Salah satu fondasi utama dalam pembangunan berkelanjutan adalah konservasi tanah dan air, terutama pada era globalisasi dimana percepatan perubahan penggunaan lahan, pertumbuhan penduduk, urbanisasi, perubahan iklim, intensifikasi pertanian, dan meningkatnya tekanan terhadap sumber daya alam menjadi tidak terelakkan. Tanah dan air merupakan komponen dasar ekosistem yang menentukan produktivitas pertanian, ketahanan pangan, ketersediaan air, stabilitas hidrologi, serta keberlanjutan kehidupan sosial-ekonomi masyarakat sehingga tidak dapat dipandang hanya sebagai sumberdaya fisik semata (Arsyad, 2010; Morgan, 2005).

Degradasi lahan dalam beberapa dekade terakhir telah menjadi persoalan global yang mengakibatkan hilangnya fungsi tanah, menurunnya kualitas air, meningkatnya erosi, sedimentasi, banjir, kekeringan, dan kerusakan keanekaragaman hayati (Lal, 2015; Pacheco *et al.*, 2018). Kerusakan tersebut bukan hanya karena faktor alam, namun juga akibat tekanan deforestasi, pertanian intensif, pertambangan, perluasan permukiman, pembangunan infrastruktur, dan perubahan tata guna lahan yang tidak sesuai dengan kemampuan lahan yang dilakukan oleh manusia (Kust *et al.*, 2017; Nugroho *et al.*, 2022).

Restorasi ekosistem muncul sebagai pendekatan penting karena tidak hanya berorientasi pada perbaikan fisik lahan, tetapi juga pada pemulihan fungsi ekologis, hidrologis, biologis, dan sosial-ekonomi suatu lanskap. Restorasi ekosistem didefinisikan sebagai proses membantu pemulihan ekosistem yang telah mengalami degradasi, kerusakan, atau kehancuran (Gann *et al.*, 2019). Dalam konteks konservasi tanah dan air, restorasi ekosistem bertujuan mengurangi erosi, memperbaiki infiltrasi, meningkatkan kapasitas simpan air tanah, menurunkan limpasan permukaan, mengendalikan sedimentasi, memperbaiki kualitas air, serta meningkatkan ketahanan lanskap terhadap perubahan iklim (Keesstra *et al.*, 2018; Arneth *et al.*, 2021).

Pendekatan restorasi ekosistem menjadi semakin relevan dalam kerangka Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*-SDG), khususnya SDG 6 tentang air bersih, SDG 13 tentang aksi iklim, dan SDG 15 tentang ekosistem daratan. Target netralitas degradasi lahan atau *land degradation neutrality* menekankan pentingnya pencegahan degradasi, pengurangan dampak kerusakan, serta pemulihan lahan yang telah terdegradasi (Kust *et al.*, 2017; Feng *et al.*, 2022). Oleh sebab itu restorasi ekosistem tidak dapat dipisahkan dari konservasi tanah dan air karena keduanya memiliki tujuan yang sama, yaitu mempertahankan dan memulihkan fungsi lanskap secara berkelanjutan.

Pada era globalisasi, persoalan konservasi tanah dan air juga dipengaruhi oleh dinamika pasar, rantai pasok komoditas, standar keberlanjutan, dan perubahan pola konsumsi global. Permintaan terhadap pangan, kayu, energi, mineral, dan komoditas perkebunan dapat mendorong perubahan penggunaan lahan secara cepat. Apabila perubahan tersebut tidak dikendalikan melalui tata ruang, konservasi, dan restorasi, maka tekanan terhadap daerah aliran sungai, tanah pertanian, hutan, gambut, mangrove, dan

wilayah pesisir akan semakin besar (Pacheco *et al.*, 2018; Supangat *et al.*, 2023).

Bab ini menempatkan restorasi ekosistem sebagai strategi ekologis dan teknis dalam konservasi tanah dan air. Restorasi dipahami sebagai proses yang menghubungkan intervensi vegetatif, mekanik, agronomis, sosial, dan kelembagaan. Dengan cara demikian, konservasi tanah dan air tidak hanya dimaknai sebagai upaya menahan tanah agar tidak tererosi, tetapi juga sebagai proses memperbaiki hubungan antara tanah, air, vegetasi, organisme, manusia, dan kebijakan pembangunan.

5.1 Konsep Dasar Restorasi Ekosistem

Restorasi ekosistem tidak identik dengan penghijauan semata, namun penanaman pohon merupakan salah satu instrumen restorasi. Tujuan utama restorasi adalah memulihkan struktur, komposisi, fungsi, dan proses ekologis ekosistem (Gann *et al.*, 2019). Menurut (Chazdon, 2008), suatu kawasan dapat terlihat hijau secara visual, tetapi belum tentu pulih secara ekologis apabila struktur tanah tetap rusak, aliran permukaan masih tinggi, biodiversitas rendah, dan fungsi hidrologis belum membaik.

Dalam praktik pengelolaan lahan, istilah restorasi sering berdampingan dengan rehabilitasi, reklamasi, revegetasi, reforestasi, dan renaturalisasi. Rehabilitasi berorientasi pada pemulihan sebagian fungsi lahan agar dapat digunakan kembali secara produktif. Reklamasi banyak diterapkan pada lahan bekas tambang dengan penekanan pada stabilisasi fisik, keamanan lereng, dan pengendalian pencemaran. Revegetasi berfokus pada pengembalian tutupan vegetasi, sedangkan restorasi ekologis berupaya mendekatkan ekosistem pada kondisi rujukan yang lebih stabil dan fungsional (Bradshaw, 1997; Gann *et al.*, 2019). Perbedaan istilah tersebut penting

karena menentukan tujuan, indikator, biaya, dan jangka waktu pelaksanaan. Apabila tujuan hanya menutup permukaan tanah untuk mengurangi erosi, maka revegetasi sederhana mungkin cukup. Namun, apabila tujuan adalah memulihkan fungsi hidrologis DAS, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan mengembalikan jasa ekosistem, maka pendekatan restorasi ekologis yang lebih komprehensif diperlukan (Chazdon, 2008; Arneth *et al.*, 2021).

Dalam konservasi tanah dan air, restorasi ekosistem berhubungan langsung dengan pemulihan fungsi tanah sebagai media tumbuh, penyimpan air, penyaring polutan, penyedia unsur hara, dan habitat organisme tanah. Menurut (Lal, 2015), tanah yang sehat memiliki struktur agregat stabil, porositas baik, kandungan bahan organik memadai, aktivitas biota tinggi, serta kemampuan menyerap dan menyimpan air secara optimal, sehingga keberhasilan restorasi tidak cukup dinilai dari banyaknya tanaman yang ditanam, tetapi harus dilihat dari membaiknya fungsi tanah dan air dalam jangka panjang. Selain itu, restorasi ekosistem juga berkaitan erat dengan konsep jasa ekosistem. Ekosistem yang pulih menyediakan jasa penyediaan, pengaturan, pendukung, dan budaya. Chazdon (2008) dan Arneth *et al.* (2021) menyebutkan dalam konservasi tanah dan air, jasa pengaturan sangat penting, seperti pengaturan aliran air, pengendalian banjir, pengurangan erosi, penyaringan sedimen, penyimpanan karbon, serta perlindungan habitat akuatik dan terestrial. Beberapa pendekatan pemulihan lahan dan ekosistem dapat dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Perbedaan beberapa pendekatan pemulihan lahan dan ekosistem

Pendekatan	Tujuan	Kegiatan	Keterkaitan dengan konservasi tanah dan air
Revegetasi	Menutup kembali permukaan lahan	Penanaman rumput, semak, pohon, atau tanaman penutup tanah	Mengurangi pukulan hujan dan limpasan permukaan
Rehabilitasi	Mengembalikan sebagian fungsi lahan	Perbaikan tanah, vegetasi, drainase, dan penggunaan lahan produktif	Meningkatkan infiltrasi dan menurunkan erosi pada lahan rusak
Reklamasi	Menstabilkan lahan terganggu berat	Penataan lereng, pengembalian tanah pucuk, ameliorasi, revegetasi	Mengendalikan sedimen dan memperbaiki kualitas air limpasan
Restorasi ekologis	Memulihkan struktur, proses, dan fungsi ekosistem	Perlindungan regenerasi alami, penanaman jenis lokal, pemulihan hidrologi, pengelolaan adaptif	Memulihkan siklus air, kestabilan tanah, dan jasa ekosistem

5.2 Degradasi Tanah dan Air sebagai Dasar Kebutuhan Restorasi

Degradasi tanah adalah penurunan kapasitas tanah dalam menjalankan fungsi ekologis, hidrologis, dan produktif. Menurut (Lal, 2015), bentuk degradasi tanah meliputi erosi, pemadatan, penurunan bahan organik, salinisasi, asidifikasi, pencemaran, kehilangan unsur hara, dan penurunan biodiversitas tanah. Degradasi air mencakup penurunan kuantitas, kualitas, kontinuitas, dan distribusi air. Kedua bentuk degradasi tersebut sering terjadi secara bersamaan karena tanah dan air merupakan komponen yang saling berhubungan dalam siklus hidrologi (Morgan, 2005; Arsyad, 2010).

Di wilayah tropis basah, erosi merupakan salah satu bentuk degradasi tanah yang paling menonjol. Morgan (2005) menyebutkan curah hujan tinggi, intensitas hujan besar, topografi curam, tanah mudah tererosi, dan rendahnya tutupan vegetasi meningkatkan risiko kehilangan tanah lapisan atas. Hilangnya tanah lapisan atas menyebabkan penurunan kandungan bahan organik, unsur hara, kapasitas infiltrasi, dan produktivitas lahan (Arsyad, 2010).

Dari sudut pandang hidrologi, degradasi tanah menyebabkan menurunnya infiltrasi dan meningkatnya limpasan permukaan. Air hujan yang seharusnya meresap ke dalam tanah berubah menjadi aliran permukaan yang cepat, sehingga meningkatkan risiko banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau (Keesstra *et al.*, 2018). Sedimen yang terbawa limpasan permukaan masuk ke sungai, waduk, saluran irigasi, dan kawasan pesisir, sehingga menurunkan kapasitas tampung air, merusak habitat perairan, dan meningkatkan biaya pemeliharaan infrastruktur air (Morgan, 2005; Pacheco *et al.*, 2018).

Degradasi atau penurunan kualitas air juga dapat terjadi melalui pencemaran nutrien, pestisida, logam berat, mikroplastik, dan limbah domestik. Pada lahan pertanian intensif, kehilangan tanah sering membawa nitrogen, fosfor, bahan organik, dan residu pestisida ke badan air. Hal ini akan memicu terjadinya akumulasi nutrien yang mengakibatkan eutrofikasi, pertumbuhan alga berlebih, penurunan oksigen terlarut, dan gangguan pada organisme akuatik. Dalam keadaan ini, konservasi tanah dan air harus dipandang sebagai strategi perlindungan kualitas air, bukan hanya pengendalian erosi fisik.

Di Indonesia, persoalan konservasi tanah dan air telah lama menjadi perhatian dalam pengelolaan DAS. Menurut Nugroho *et al.* (2022), kajian tentang kebijakan konservasi tanah dan air selama beberapa dekade menunjukkan bahwa lahan pertanian miring, deforestasi, dan lemahnya penerapan teknik konservasi menjadi faktor penting penyumbang erosi dan degradasi DAS. Restorasi ekosistem berbasis DAS sangat diperlukan untuk memperbaiki keterkaitan antara penggunaan lahan, tutupan vegetasi, aliran air, dan sedimentasi.

Degradasi tanah dan air tidak selalu tampak seketika. Pada tahap awal, tanda-tandanya mungkin hanya berupa penurunan produktivitas, pengerasan lapisan olah, keruhnya air sungai setelah hujan, atau meningkatnya kebutuhan pupuk. Namun, apabila proses tersebut berlangsung lama, sistem tanah-air dapat melampaui ambang pemulihan alami. Restorasi ekosistem menjadi semakin sulit, lebih mahal, dan membutuhkan waktu lebih panjang ketika degradasi telah mencapai tahap parah (Lal, 2015; Kust *et al.*, 2017).

5.3 Prinsip Ekologi Restorasi untuk Konservasi Tanah dan Air

Restorasi ekosistem yang efektif harus didasarkan pada prinsip ekologis. Prinsip pertama adalah memahami kondisi rujukan ekosistem. Kondisi rujukan tidak selalu berarti mengembalikan ekosistem sepenuhnya seperti masa lampau, tetapi menyediakan arah pemulihan berdasarkan karakter tanah, iklim, vegetasi asli, hidrologi, sejarah gangguan, dan kebutuhan masyarakat (Gann *et al.*, 2019).

Prinsip kedua adalah memulihkan proses ekologis, bukan hanya struktur fisik. Penanaman pohon, pembangunan teras, atau pembuatan cekdam tidak cukup apabila proses seperti siklus hara, infiltrasi, regenerasi alami, dekomposisi, dan interaksi biotik tidak berjalan. Restorasi harus dinilai berdasarkan pemulihan fungsi, seperti meningkatnya infiltrasi, menurunnya erosi, bertambahnya bahan organik tanah, meningkatnya debit dasar sungai, dan membaiknya kualitas air (Keesstra *et al.*, 2018; Lal, 2015).

Prinsip ketiga adalah menggunakan pendekatan lanskap dan DAS. Tanah dan air bergerak mengikuti satuan hidrologis, bukan batas administrasi. Restorasi harus dirancang berdasarkan hubungan antara hulu dan hilir, kemiringan lereng, jaringan sungai, kawasan resapan, sempadan sungai, dan wilayah rawan erosi (Arsyad, 2010; Supangat *et al.*, 2023).

Prinsip keempat adalah mengutamakan keanekaragaman hayati dan jenis lokal. Vegetasi lokal umumnya lebih sesuai dengan kondisi iklim, tanah, fauna, mikroorganisme, dan proses suksesi setempat. Sistem vegetasi yang beragam lebih tahan terhadap hama, penyakit, kekeringan, dan perubahan iklim dibandingkan sistem monokultur (Chazdon, 2008; Nair *et al.*, 2021).

Prinsip kelima adalah pengelolaan adaptif. Restorasi ekosistem merupakan proses jangka panjang yang membutuhkan pemantauan, evaluasi, dan penyesuaian strategi. Perubahan iklim, kebakaran, invasi spesies asing, konflik tenurial, dan perubahan sosial-ekonomi dapat memengaruhi hasil restorasi (Arneth *et al.*, 2021).

Prinsip keenam adalah menghindari kerusakan baru. Dalam hirarki pengelolaan lingkungan, mencegah degradasi selalu lebih efektif daripada memulihkan lahan yang telah rusak. Restorasi tidak boleh menjadi pembenaran untuk merusak ekosistem yang masih baik, melainkan harus dipadukan dengan perlindungan kawasan bernilai konservasi tinggi, tata ruang yang konsisten, dan praktik penggunaan lahan yang sesuai kemampuan lahan (Albaladejo *et al.*, 2021; Feng *et al.*, 2022).

Prinsip ketujuh adalah keadilan sosial dan keberlanjutan kelembagaan. Ekosistem tidak dapat dipulihkan hanya melalui intervensi teknis apabila penyebab sosial-ekonomi kerusakan tetap berlangsung. Menurut Kust *et al.* (2017) dan (Supangat *et al.*, 2023), restorasi harus memperhatikan hak tenurial, manfaat ekonomi, kapasitas masyarakat, dan koordinasi antarlembaga. Tanpa aspek tersebut, restorasi berisiko menjadi proyek sesaat yang tidak bertahan setelah dukungan pendanaan berakhir. Prinsip restorasi ekosistem dan implikasinya bagi konservasi tanah dan air dapat di lihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Prinsip Restorasi Ekosistem dan Implikasinya Bagi Konservasi Tanah dan Air

Prinsip	Makna operasional	Contoh indikator
Berbasis kondisi rujukan	Tujuan restorasi disesuaikan dengan sejarah	Komposisi jenis lokal, tutupan

Prinsip	Makna operasional	Contoh indikator
	ekosistem, tanah, iklim, dan hidrologi setempat	vegetasi, kondisi tanah
Memulihkan proses	Menilai fungsi ekologis, bukan hanya penampilan fisik	Infiltrasi, bahan organik, debit dasar, sedimen
Berbasis lanskap/DAS	Intervensi dirancang menurut hubungan hulu-hilir dan unit hidrologis	Luas kawasan kritis, kontribusi sedimen, stabilitas aliran
Keanekaragaman hayati	Menggunakan jenis lokal dan struktur vegetasi beragam	Jumlah jenis, regenerasi alami, habitat satwa
Pengelolaan adaptif	Perencanaan dapat berubah berdasarkan hasil pemantauan	Laporan monitoring, revisi tindakan, pembelajaran lapangan

5.4 Hubungan Vegetasi, Tanah, dan Air dalam Restorasi Ekosistem

Vegetasi merupakan komponen utama dalam restorasi ekosistem untuk konservasi tanah dan air. Tajuk tanaman mengurangi energi kinetik hujan sebelum mencapai permukaan tanah, sedangkan seresah melindungi tanah dari

pukulan butir hujan dan memperlambat aliran permukaan (Morgan, 2005). Akar tanaman memperkuat agregat tanah, meningkatkan porositas, menciptakan saluran makropori, dan memperbaiki infiltrasi (Lal, 2015). Pada lahan miring, vegetasi berfungsi sebagai pengikat tanah. Akar pohon yang dalam meningkatkan stabilitas lereng, sedangkan akar rumput dan tanaman penutup tanah memperkuat lapisan tanah atas. Kombinasi vegetasi bertingkat dapat mengurangi erosi lembar, erosi alur, erosi parit, dan longsor dangkal (Arsyad, 2010).

Agroforestri merupakan salah satu bentuk restorasi produktif yang menggabungkan fungsi konservasi dan produksi. Sistem agroforestri dapat meningkatkan tutupan lahan, menambah bahan organik, memperbaiki infiltrasi, mengurangi limpasan permukaan, dan memberikan hasil ekonomi bagi masyarakat (Nair *et al.*, 2021; Hairiah and Ashari, 2013). Di Indonesia, agroforestri banyak dipandang sebagai praktik konservasi tanah dan air yang sesuai untuk wilayah pertanian berlereng karena dapat menggabungkan tanaman kayu, tanaman buah, tanaman pangan, dan tanaman penutup tanah (Supangat *et al.*, 2023).

Hubungan antara vegetasi, tanah, dan air berlangsung melalui mekanisme fisik, kimia, dan biologi. Secara fisik, tutupan tajuk dan mulsa mengurangi energi hujan, memperlambat limpasan, dan meningkatkan waktu tinggal air di permukaan. Secara kimia, seresah dan akar mati meningkatkan bahan organik, kapasitas tukar kation, serta kemampuan tanah mengikat unsur hara. Secara biologi, akar dan mikroorganisme menghasilkan senyawa perekat yang memperbaiki agregasi tanah serta mendukung kehidupan fauna tanah seperti cacing, rayap, dan arthropoda (Lal, 2015). Namun demikian, hubungan vegetasi dan air harus dipahami secara hati-hati. Penanaman pohon tidak selalu otomatis meningkatkan ketersediaan air, terutama di daerah kering atau pada penggunaan jenis tanaman dengan

evapotranspirasi tinggi. Pemilihan jenis, kerapatan, pola tanam, dan lokasi restorasi harus mempertimbangkan neraca air lokal (Arneth *et al.*, 2021).

Pada wilayah tropis basah, pemulihan vegetasi pada hulu DAS umumnya memperbaiki infiltrasi, mengurangi limpasan cepat, dan menekan erosi. Akan tetapi, pada wilayah semi-kering, penanaman yang terlalu rapat dapat meningkatkan konsumsi air oleh vegetasi dan menurunkan aliran permukaan. Oleh sebab itu, restorasi harus dirancang menurut konteks iklim, karakter tanah, kedalaman solum, bentuklahan, dan tujuan pengelolaan air. Secara ringkas mekanisme vegetasi dalam konservasi tanah dan air dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5. 3 Mekanisme Vegetasi dalam Konservasi Tanah dan Air

Komponen vegetasi	Mekanisme konservasi	Dampak utama
Tajuk	Mengintersepsi hujan dan mengurangi energi kinetik butir hujan	Mengurangi pemecahan agregat dan erosi percik
Seresah/mulsa	Menutup tanah, memperlambat aliran, menambah bahan organik	Meningkatkan infiltrasi dan mengurangi limpasan
Akar halus	Mengikat partikel tanah dan memperbaiki agregasi	Meningkatkan stabilitas tanah lapisan atas

Komponen vegetasi	Mekanisme konservasi	Dampak utama
Akar dalam	Memperkuat lereng dan menciptakan makropori	Mengurangi longsor dangkal dan memperbesar peresapan
Keanekaragaman jenis	Menyediakan struktur vegetasi berlapis dan fungsi ekologis beragam	Meningkatkan ketahanan ekosistem

5.5 Pendekatan Restorasi pada Berbagai Tipe Ekosistem

Restorasi ekosistem harus disesuaikan dengan tipe ekosistem karena setiap ekosistem memiliki proses ekologis, kendala, dan indikator keberhasilan yang berbeda. Tindakan yang efektif pada hutan hulu belum tentu sesuai untuk gambut, mangrove, lahan bekas tambang, atau lahan pertanian kering. Kesalahan dalam memahami karakter ekosistem dapat menyebabkan kegagalan restorasi, pemborosan biaya, atau bahkan kerusakan baru.

Pada hutan hulu DAS, restorasi bertujuan memulihkan tutupan vegetasi permanen, memperbaiki infiltrasi, mengurangi erosi, dan menstabilkan aliran sungai. Menurut Arsyad (2010) dan Supangat *et al.* (2023), kerusakan hutan hulu dapat meningkatkan erosi, sedimentasi sungai, fluktuasi debit, banjir, dan penurunan kualitas air. Restorasi hutan hulu dapat dilakukan melalui perlindungan regenerasi alami, penanaman jenis lokal, pengendalian kebakaran, pembatasan pembukaan lahan pada lereng curam, serta pengembangan agroforestri pada zona penyangga. Pada kawasan yang masih memiliki sumber benih dan tekanan gangguan relatif rendah,

regenerasi alami berbantuan dapat menjadi pendekatan yang efektif dan efisien. Sebaliknya, pada kawasan yang rusak berat, penanaman aktif diperlukan untuk mempercepat pemulihan tutupan lahan dan fungsi hidrologis (Chazdon, 2008; Gann *et al.*, 2019).

Lahan pertanian terdegradasi membutuhkan pendekatan yang menggabungkan konservasi tanah-air dan peningkatan produktivitas. Teknik yang dapat diterapkan meliputi olah tanah konservasi, mulsa, tanaman penutup tanah, rotasi tanaman, terasering, guludan kontur, rorak, embung kecil, dan agroforestri (Arsyad, 2010). Pada lahan kering berlereng, sistem budidaya searah lereng harus dihindari karena mempercepat aliran permukaan dan erosi.

Lahan kritis dan bekas tambang memiliki kendala berat, seperti hilangnya tanah pucuk, pemadatan, pH ekstrem, rendahnya bahan organik, buruknya drainase, dan potensi pencemaran logam berat. Restorasi pada lahan semacam ini harus dimulai dari stabilisasi fisik dan kimia tanah melalui penataan lereng, pengendalian erosi, pengembalian tanah pucuk, pemberian amelioran, penambahan bahan organik, dan penanaman jenis pionir (Bradshaw, 1997).

Zona riparian adalah wilayah peralihan antara ekosistem daratan dan perairan. Kawasan ini berperan menyaring sedimen, menahan nutrisi, memperkuat tebing sungai, menyediakan habitat, dan mengatur suhu air. Kerusakan riparian dapat meningkatkan erosi tebing, pendangkalan sungai, pencemaran air, dan hilangnya habitat biota akuatik (Naiman *et al.*, 2005). Restorasi riparian dilakukan melalui penanaman vegetasi sempadan, pengendalian aktivitas ternak, pengurangan pembuangan limbah, pemulihan jalur hijau sungai, serta pembatasan pembangunan di sempadan sungai.

Lahan gambut memiliki fungsi penting sebagai penyimpan karbon dan pengatur tata air. Degradasi gambut sering terjadi akibat drainase, kebakaran, penurunan muka tanah, dan konversi lahan. Restorasi gambut menekankan pembasahan kembali, penutupan kanal, revegetasi jenis adaptif, dan revitalisasi mata pencaharian masyarakat (Page *et al.*, 2011).

Mangrove berperan penting dalam menahan abrasi, menjebak sedimen, melindungi pesisir dari gelombang, menyimpan karbon biru, dan menyediakan habitat biota. Restorasi mangrove tidak cukup dilakukan dengan menanam bibit pada sembarang lokasi. Menurut (Lewis, 2005), keberhasilan mangrove sangat ditentukan oleh hidrologi pasang surut, elevasi lahan, jenis substrat, salinitas, dan ketersediaan propagul. Tabel 5.4 akan menjelaskan pendekatan restorasi menurut tipe ekosistem.

Tabel 5. 4 Pendekatan Restorasi Menurut Tipe Ekosistem

Tipe ekosistem	Masalah utama	Pendekatan restorasi	Indikator keberhasilan
Hutan hulu DAS	Erosi, fluktuasi debit, kehilangan tutupan	Regenerasi alami berbantuan, penanaman jenis lokal, perlindungan lereng	Tutupan tajuk, infiltrasi, sedimen menurun
Lahan pertanian miring	Erosi, penurunan bahan organik, limpasan	Agroforestri, teras, tanaman penutup, mulsa	Produktivitas stabil, erosi menurun

Tipe ekosistem	Masalah utama	Pendekatan restorasi	Indikator keberhasilan
Bekas tambang	Tanah pucuk hilang, pH ekstrem, lereng labil	Penataan lereng, ameliorasi, revegetasi pionir	Lereng stabil, kualitas air membaik
Riparian	Erosi tebing, sedimentasi, pencemaran	Buffer vegetatif, pembatasan aktivitas, pemulihan sempadan	Tebing stabil, kualitas air meningkat
Gambut	Drainase, kebakaran, subsidensi	Pembasahan kembali, penutupan kanal, revegetasi	Muka air tanah stabil, kebakaran menurun
Mangrove	Abrasi, gangguan pasang surut, konversi	Pemulihan hidrologi, perlindungan, penanaman sesuai zonasi	Regenerasi alami, sedimen stabil

5.6 Teknik Konservasi Tanah dan Air dalam Kerangka Restorasi Ekosistem

Teknik konservasi tanah dan air dapat dibagi menjadi teknik vegetatif, mekanik, agronomis, dan manajerial. Dalam restorasi ekosistem, teknik-teknik tersebut harus disusun sebagai paket intervensi yang sesuai dengan kondisi biofisik dan sosial-ekonomi setempat (Arsyad, 2010; Nugroho *et al.*, 2022). Teknik vegetatif meliputi penanaman pohon, semak,

rumput, tanaman penutup tanah, pagar hidup, strip vegetatif, agroforestri, dan rehabilitasi riparian. Teknik ini bekerja melalui perlindungan permukaan tanah, peningkatan infiltrasi, penguatan agregat, dan penambahan bahan organik (Nair *et al.*, 2021).

Teknik mekanik meliputi teras bangku, teras gulud, saluran kontur, rorak, sumur resapan, embung, cekdam, bronjong, dan bangunan pengendali jurang. Teknik ini diperlukan terutama pada lahan dengan kemiringan tinggi, aliran terkonsentrasi, atau kerusakan fisik berat. Namun, teknik mekanik yang tidak disertai vegetasi sering tidak berkelanjutan karena membutuhkan pemeliharaan tinggi dan rentan rusak (Arsyad, 2010; Morgan, 2005).

Teknik agronomis meliputi rotasi tanaman, tumpangsari, olah tanah minimum, mulsa, pemupukan organik, pengapuran tanah masam, dan pengelolaan residu tanaman. Menurut (Naiman *et al.*, 2005), teknik tersebut penting pada lahan pertanian karena dapat diterima petani dan langsung berkaitan dengan peningkatan produksi.

Teknik manajerial meliputi tata guna lahan berbasis kemampuan lahan, pengaturan kawasan lindung, insentif konservasi, penguatan kelembagaan DAS, pembayaran jasa lingkungan, dan partisipasi masyarakat. Tanpa tata kelola yang baik, tindakan teknis sering gagal karena tekanan sosial-ekonomi terhadap lahan tetap berlangsung (Kust *et al.*, 2017; Supangat *et al.*, 2023).

Pemilihan teknik harus memperhatikan kemiringan lereng, kedalaman tanah, tekstur, permeabilitas, erosivitas hujan, jenis penggunaan lahan, kepemilikan, ketersediaan tenaga kerja, dan nilai ekonomi tanaman. Pada lahan landai, teknik vegetatif dan agronomis sering cukup efektif. Pada lahan agak curam sampai curam, kombinasi teras, saluran kontur, strip rumput, dan tanaman tahunan lebih dibutuhkan. Pada lokasi dengan erosi parit, bangunan pengendali alur dan

revegetasi tebing perlu dilakukan secara bersamaan. Tabel 5.5 akan menjelaskan bagaimana pemilihan Teknik konservasi tanah dan air berdasarkan kondisi lahan.

Tabel 5. 5 Pemilihan Teknik Konservasi Tanah dan Air Berdasarkan Kondisi Lahan

Kondisi lahan	Teknik utama	Catatan penerapan
Lahan landai dengan erosi ringan	Mulsa, tanaman penutup, rotasi tanaman	Biaya rendah dan mudah diterapkan petani
Lahan agak miring	Guludan kontur, strip rumput, agroforestri	Perlu pemeliharaan vegetasi penguat
Lahan curam	Teras, saluran kontur, tanaman tahunan	Harus mengikuti kemampuan lahan dan aspek keselamatan
Alur/parit erosi	Cekdam kecil, bronjong, revegetasi tebing	Bangunan mekanik harus dikombinasikan dengan vegetasi
Daerah resapan	Revegetasi permanen, sumur resapan, pembatasan permukaan kedap	Prioritas menjaga infiltrasi dan kualitas air

5.7 Dimensi Sosial-Ekonomi Restorasi Ekosistem

Restorasi ekosistem tidak akan berhasil tanpa dukungan masyarakat. Banyak lahan terdegradasi berada di wilayah yang menjadi sumber penghidupan petani, masyarakat adat, nelayan, peternak, atau komunitas lokal lainnya. Menurut Chazdon (2008) dan Kust *et al.* (2017), apabila restorasi dipaksakan tanpa memperhatikan hak, kebutuhan, dan pengetahuan lokal, maka konflik dan kegagalan program dapat terjadi. Pendekatan partisipatif diperlukan sejak tahap perencanaan. Masyarakat perlu dilibatkan dalam identifikasi masalah, pemilihan jenis tanaman, penentuan lokasi, pembagian manfaat, pemantauan, dan pemeliharaan. Pengetahuan lokal tentang musim, tanah, sumber air, tanaman, dan sejarah lahan sering sangat penting untuk keberhasilan restorasi (Supangat *et al.*, 2023).

Restorasi juga harus memberikan manfaat ekonomi. Agroforestri, hasil hutan bukan kayu, ekowisata, perikanan berkelanjutan, pertanian konservasi, dan pembayaran jasa lingkungan dapat menjadi sumber pendapatan masyarakat. Dalam konteks Indonesia, agroforestri dan hutan kemasyarakatan dapat menjadi pendekatan penting untuk menggabungkan konservasi, restorasi, dan kesejahteraan masyarakat (Hairiah and Ashari, 2013; Nugroho *et al.*, 2022).

Dimensi sosial-ekonomi juga mencakup biaya kesempatan. Lahan yang direstorasi sering sebelumnya digunakan untuk tanaman semusim, penggembalaan, tambang rakyat, atau kegiatan ekonomi lain. Apabila restorasi menutup akses masyarakat terhadap sumber pendapatan tanpa menyediakan alternatif, maka tekanan untuk membuka kembali lahan akan tetap tinggi. Karena itu, restorasi harus memadukan tujuan ekologis dengan rancangan mata pencaharian yang layak. Kelembagaan lokal memiliki peran penting dalam pengaturan akses, pemeliharaan, pembagian manfaat, dan penyelesaian konflik. Pada tingkat desa atau

komunitas, aturan mengenai larangan pembakaran, pengaturan penggembalaan, perlindungan mata air, pemeliharaan teras, dan penanaman pohon dapat memperkuat keberlanjutan restorasi. Pada skala yang lebih luas, koordinasi antarlembaga diperlukan karena DAS melintasi batas desa, kecamatan, kabupaten, bahkan provinsi.

Pembiayaan restorasi dapat berasal dari anggaran pemerintah, swasta, mekanisme tanggung jawab sosial, pembayaran jasa lingkungan, dana karbon, atau skema kolaboratif. Namun, pembiayaan harus diikuti akuntabilitas dan indikator hasil. Program yang hanya menekankan realisasi anggaran atau jumlah bibit rentan gagal karena tidak memastikan perubahan fungsi ekosistem.

5.8 Indikator Keberhasilan Restorasi untuk Konservasi Tanah dan Air

Keberhasilan restorasi perlu diukur dengan indikator yang jelas. Indikator biofisik tanah meliputi penurunan laju erosi, peningkatan bahan organik, peningkatan stabilitas agregat, penurunan bobot isi, peningkatan infiltrasi, peningkatan aktivitas biota tanah, dan membaiknya kesuburan tanah (Lal, 2015; Morgan, 2005). Indikator hidrologis meliputi penurunan limpasan permukaan, peningkatan debit dasar, penurunan debit puncak, berkurangnya sedimentasi, peningkatan kualitas air, dan stabilitas mata air (Keesstra *et al.*, 2018). Indikator vegetasi meliputi tutupan tajuk, kepadatan tanaman, keragaman jenis, regenerasi alami, biomassa, dan keberadaan jenis lokal (Gann *et al.*, 2019).

Indikator sosial-ekonomi meliputi peningkatan pendapatan, berkurangnya konflik, partisipasi masyarakat, keberlanjutan kelembagaan, dan distribusi manfaat yang adil. Pemantauan perlu dilakukan secara berkala agar hasil

restorasi dapat dievaluasi dan strategi pengelolaan dapat disesuaikan (Kust *et al.*, 2017; Arneth *et al.*, 2021).

Pada tahap awal, indikator yang mudah diukur dapat digunakan, seperti persentase tanaman hidup, tutupan tanah, keberadaan erosi alur, dan kerusakan bangunan konservasi. Pada tahap menengah, pemantauan dapat mencakup infiltrasi, bahan organik, sedimen tersuspensi, kualitas air, dan pertumbuhan vegetasi. Pada tahap lanjut, indikator dapat mencakup regenerasi alami, keanekaragaman hayati, karbon tanah, perubahan debit dasar, dan keberlanjutan kelembagaan.

Pemantauan harus menggunakan rancangan yang jelas. Lokasi pemantauan perlu mewakili variasi lereng, jenis tanah, penggunaan lahan, dan tingkat kerusakan. Data sebelum restorasi sangat penting sebagai pembanding. Apabila data awal tidak tersedia, peneliti atau pengelola dapat menggunakan lokasi kontrol yang relatif mirip tetapi belum direstorasi. Pendekatan ini membantu membedakan dampak restorasi dari variasi iklim tahunan. Indikator pemantauan restorasi untuk konservasi tanah dan air dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Indikator Pemantauan Restorasi untuk Konservasi Tanah dan Air

Kelompok indikator	Parameter	Metode sederhana
Tanah	Bahan organik, bobot isi, stabilitas agregat, infiltrasi	Analisis tanah, ring sampel, uji infiltrasi lapangan
Erosi dan sedimen	Erosi alur, sedimen tersuspensi, kekeruhan	Plot erosi, patok erosi, pengambilan sampel air

Kelompok indikator	Parameter	Metode sederhana
Hidrologi	Debit dasar, debit puncak, kontinuitas mata air	Pengukuran debit berkala, catatan warga, alat duga muka air
Vegetasi	Tutupan tajuk, jumlah jenis, regenerasi alami	Transek, plot vegetasi, foto titik tetap
Sosial-ekonomi	Partisipasi, manfaat ekonomi, konflik	Wawancara, diskusi kelompok, catatan kelembagaan

5.9 Tantangan Restorasi Ekosistem di Indonesia

Indonesia memiliki kondisi ekologis yang sangat beragam, mulai dari hutan hujan tropis, savana, gambut, mangrove, pegunungan, daerah kering, hingga pulau-pulau kecil. Keragaman tersebut menuntut pendekatan restorasi yang spesifik lokasi. Menurut Nugroho *et al.* (2022) dan Supangat *et al.* (2023), tantangan utama restorasi di Indonesia meliputi tekanan konversi lahan, kebakaran, konflik tenurial, lemahnya koordinasi kelembagaan, keterbatasan pendanaan, kurangnya pemeliharaan pascatanam, dan perubahan iklim.

Salah satu persoalan umum adalah orientasi proyek jangka pendek. Banyak kegiatan rehabilitasi lahan hanya menekankan jumlah bibit yang ditanam, bukan keberhasilan ekologis jangka panjang. Akibatnya, tanaman mati, masyarakat tidak merasa memiliki, dan fungsi tanah-air tidak pulih secara nyata. Restorasi seharusnya dirancang sebagai proses jangka panjang dengan pendampingan, pemantauan, dan pengelolaan adaptif (Gann *et al.*, 2019).

Tantangan lain adalah konflik antara kebutuhan konservasi dan kebutuhan ekonomi. Pada lahan miring, masyarakat sering tetap menanam tanaman semusim karena kebutuhan pendapatan cepat. Solusi konservasi harus realistis secara ekonomi, misalnya melalui agroforestri bernilai pasar, tanaman buah, kopi konservasi, kakao agroforestri, bambu, madu hutan, atau hasil hutan bukan kayu lainnya (Nair *et al.*, 2021; Hairiah and Ashari, 2013).

Kebakaran lahan, terutama pada gambut dan lahan kering yang mudah terbakar, menjadi tantangan besar karena dapat menghilangkan hasil restorasi dalam waktu singkat. Pencegahan kebakaran memerlukan pengelolaan air, patroli masyarakat, sistem peringatan dini, pengaturan akses, dan alternatif pembukaan lahan tanpa bakar. Restorasi yang tidak disertai pencegahan kebakaran akan berisiko mengalami siklus tanam-rusak-tanam ulang.

Konflik tenurial juga memengaruhi restorasi. Ketidakjelasan hak atas lahan dapat membuat masyarakat enggan memelihara tanaman atau menerima perubahan tata guna lahan. Sebaliknya, kepastian akses yang disertai tanggung jawab konservasi dapat meningkatkan rasa memiliki. Restorasi harus dikaitkan dengan perhutanan sosial, tata batas partisipatif, dan penyelesaian konflik secara adil.

Koordinasi antarlembaga menjadi tantangan karena konservasi tanah dan air berada di persimpangan sektor kehutanan, pertanian, pekerjaan umum, lingkungan hidup, tata ruang, desa, dan pemerintahan daerah. Tanpa koordinasi, program dapat tumpang tindih, indikator berbeda-beda, dan pemeliharaan tidak berkelanjutan.

5.10 Strategi Implementasi Restorasi Ekosistem

Strategi implementasi restorasi ekosistem untuk konservasi tanah dan air dapat dirumuskan dalam beberapa tahap :

1. Tahap pertama adalah penilaian awal yang mencakup kondisi biofisik, sosial, ekonomi, dan kelembagaan.
2. Tahap kedua adalah penetapan tujuan restorasi yang terukur, misalnya menurunkan erosi, memperbaiki mata air, mengurangi sedimentasi, meningkatkan tutupan vegetasi, atau memperbaiki kualitas air (Gann *et al.*, 2019).
3. Tahap ketiga adalah pemilihan pendekatan restorasi, apakah melalui regenerasi alami, regenerasi berbantuan, penanaman aktif, rekayasa hidrologi, atau kombinasi beberapa pendekatan.
4. Tahap keempat adalah pelaksanaan teknis yang memperhatikan musim tanam, kualitas bibit, persiapan lahan minimum, perlindungan tanaman, pengendalian gulma, dan pemeliharaan (Chazdon, 2008).
5. Tahap kelima adalah pemantauan dan evaluasi. Data pemantauan harus digunakan untuk memperbaiki tindakan, bukan sekadar sebagai laporan administratif.
6. Tahap keenam adalah kelembagaan, yaitu memastikan bahwa restorasi menjadi bagian dari tata kelola lahan, kebijakan desa, rencana DAS, atau skema ekonomi lokal (Kust *et al.*, 2017; Supangat *et al.*, 2023).

Dalam praktik lapangan, implementasi restorasi harus dimulai dari penyusunan peta masalah. Peta tersebut menggambarkan lokasi erosi berat, longsor, mata air, sempadan sungai, lahan kritis, kawasan rawan banjir, akses masyarakat, dan kepemilikan lahan. Peta masalah kemudian

dikaitkan dengan peta prioritas intervensi sehingga tindakan tidak dilakukan secara acak.

Pemilihan jenis tanaman harus mempertimbangkan fungsi ekologis dan nilai ekonomi. Jenis dengan akar kuat cocok untuk penguatan lereng dan sempadan sungai. Jenis penghasil seresah tinggi bermanfaat untuk meningkatkan bahan organik. Jenis buah, rempah, getah, pakan, atau kayu bernilai ekonomi dapat meningkatkan motivasi masyarakat untuk memelihara tanaman. Pada kawasan konservasi, prioritas diberikan pada jenis lokal yang mendukung regenerasi ekosistem.

Restorasi memerlukan pemeliharaan minimal selama beberapa tahun pertama. Kegiatan pemeliharaan meliputi penyulaman, pengendalian gulma, perlindungan dari ternak, perbaikan teras, pembersihan saluran, pengendalian kebakaran, dan pemantauan pertumbuhan. Tanpa pemeliharaan, tingkat keberhasilan tanaman dapat menurun drastis, terutama pada lahan kering, lahan terdegradasi berat, atau lokasi dengan gangguan manusia. Secara ringkas Tabel 5.7 akan menjelaskan tahapan implementasi restorasi ekosistem.

Tabel 5. 7 Tahapan Implementasi Restorasi Ekosistem

Tahap	Kegiatan utama	Keluaran
Penilaian awal	Pemetaan biofisik, sosial, ekonomi, dan kelembagaan	Profil masalah dan peluang restorasi
Penetapan tujuan	Merumuskan target erosi, air, vegetasi, dan manfaat sosial	Tujuan terukur dan indikator

Tahap	Kegiatan utama	Keluaran
Perancangan intervensi	Memilih teknik vegetatif, mekanik, agronomis, dan sosial	Rencana teknis restorasi
Pelaksanaan	Penanaman, pemulihan hidrologi, konstruksi konservasi, pendampingan	Intervensi lapangan terlaksana
Pemantauan	Mengukur indikator tanah, air, vegetasi, dan sosial	Data evaluasi berkala
Pengelolaan adaptif	Memperbaiki tindakan berdasarkan hasil monitoring	Strategi restorasi yang diperbarui

5.11 Arah Pengembangan Restorasi Ekosistem di Era Globalisasi

Pada era globalisasi, restorasi ekosistem perlu dikaitkan dengan transformasi sistem pangan, energi, industri, dan tata kelola lingkungan. Restorasi tidak boleh hanya menjadi kegiatan kompensasi setelah kerusakan terjadi, tetapi harus menjadi bagian dari perencanaan pembangunan. Prinsip menghindari kerusakan harus menjadi prioritas pertama, diikuti pengurangan dampak, pemulihan, dan kompensasi sebagai pilihan terakhir (Feng *et al.*, 2022; Albaladejo *et al.*, 2021).

Teknologi modern dapat mendukung restorasi. Penginderaan jauh, sistem informasi geografis, pemodelan hidrologi, sensor kualitas air, drone, dan analisis data spasial dapat membantu pemetaan prioritas, pemantauan tutupan lahan, estimasi erosi, dan evaluasi keberhasilan. Namun, teknologi harus dikombinasikan dengan pengetahuan lapangan dan partisipasi masyarakat (Ridwansyah *et al.*, 2018; Supangat *et al.*, 2023). Restorasi juga harus memperhatikan keadilan ekologis. Kelompok masyarakat yang paling rentan terhadap banjir, kekeringan, dan degradasi tanah sering memiliki kapasitas paling rendah untuk beradaptasi. Oleh sebab itu, restorasi harus dirancang untuk memperkuat ketahanan masyarakat, bukan sekadar memenuhi target luas tanam atau target karbon (Arneth *et al.*, 2021).

Pada tingkat kebijakan, restorasi ekosistem perlu diintegrasikan dengan tata ruang, pengelolaan DAS, rencana perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, pertanian berkelanjutan, rehabilitasi hutan dan lahan, serta strategi adaptasi perubahan iklim. Integrasi ini penting karena banyak penyebab degradasi tanah dan air berada di luar sektor konservasi semata.

Globalisasi juga membuka peluang pasar bagi produk yang dihasilkan dari lanskap restoratif, seperti kopi agroforestri, kakao agroforestri, madu hutan, hasil hutan bukan kayu, produk organik, dan ekowisata. Namun, skema pasar harus memastikan manfaat bagi masyarakat lokal dan tidak hanya menjadi label komersial. Sertifikasi dan rantai pasok berkelanjutan harus disertai pendampingan teknis, akses pembiayaan, dan perlindungan petani kecil.

Pengembangan restorasi ke depan perlu menempatkan tanah sebagai pusat kebijakan lingkungan. Tanah sering kurang terlihat dibandingkan hutan, air, atau karbon, padahal fungsi tanah menentukan hampir semua proses ekosistem

daratan. Restorasi tanah melalui peningkatan bahan organik, biota tanah, struktur agregat, dan infiltrasi merupakan investasi jangka panjang bagi ketahanan pangan, air, dan iklim (Lal, 2015; Keesstra *et al.*, 2018).

DAFTAR PUSTAKA

- Albaladejo, J., Díaz-pereira, E. and Vente, J. De (2021) 'Catena Eco-Holistic Soil Conservation to support Land Degradation Neutrality and the Sustainable Development Goals', *Catena*, 196, p. 104823. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104823>.
- Arneth, A. *et al.* (2021) 'Restoring Degraded Lands', *Annual Review of Environment and Resources*, 46, pp. 569–599.
- Arsyad, S. (2010) *Konservasi Tanah dan Air*. Bogor: IPB Press.
- Bradshaw, A. (1997) 'Restoration of mined lands — using natural processes', *Ecological Engineering*, 8, pp. 255–269.
- Chazdon, R.L. (2008) 'Beyond Deforestation: Restoring Forests and Ecosystem Services on Degraded Lands', *Science*, 320, pp. 1458–1460. Available at: <https://doi.org/10.1126/science.1155365>.
- Feng, S. *et al.* (2022) 'Land degradation neutrality : A review of progress and perspectives', *Ecological Indicators*, 144, p. 109530. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109530>.
- Gann, G.D. *et al.* (2019) 'International principles and standards for the practice of ecological restoration', *Restoration Ecology*, 27(S1), pp. S1–S46. Available at: <https://doi.org/10.1111/rec.13035>.
- Hairiah, K. and Ashari, S. (2013) 'Pertanian Masa Depan: Agroforestri, Manfaat, dan Layanan Lingkungan', in *Prosiding Seminar Nasional Agroforestri 2013*. Bogor: CIFOR-ICRAF, pp. 1–35.

- Keesstra, S. *et al.* (2018) 'Soil-Related Sustainable Development Goals: Four Concepts to Make Land Degradation Neutrality and Restoration Work', *Land*, 7(133), pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.3390/land7040133>.
- Kust, G., Andreeva, O. and Cowie, A. (2017) 'Land Degradation Neutrality: Concept development, practical applications and assessment', *Journal of Environmental Management*, 195, pp. 16–24. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.10.043>.
- Lal, R. (2015) 'Restoring Soil Quality to Mitigate Soil Degradation', *sustainability*, 7, pp. 5875–5895. Available at: <https://doi.org/10.3390/su7055875>.
- Lewis, R.R. (2005) 'Ecological engineering for successful management and restoration of mangrove forests', *Ecological engineering*, 24, pp. 403–418. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.10.003>.
- Morgan, R.P.C. (2005) *Soil Erosion and Conservation*. 3rd edn, Blackwell Publishing. 3rd edn. Oxford: Blackwell Publishing.
- Naiman, R.J. *et al.* (2005) *Riparia: Ecology, Conservation, and Management of Streamside Communities*. Amsterdam: Elsevier Academic Press.
- Nair, R., Kumar, B.M. and Nair, V.D. (2021) *An Introduction to Agroforestry*. Second Edi. Springer.
- Nugroho, H.Y.S.H. *et al.* (2022) 'Forty Years of Soil and Water Conservation Policy, Implementation, Research and Development in Indonesia: A Review', *sustainability*, 14(2972), pp. 1–33. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su14052972>.

- Pacheco, F.A.L. *et al.* (2018) 'Land degradation: Multiple environmental consequences and routes to neutrality', *Current Opinion in Environmental Science & Health*, 5, pp. 79–86. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2018.07.002>.
- Page, S.E., Rieley, J.O. and Banks, C.J. (2011) 'Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool', *Global Change Biology*, 17, pp. 798–818. Available at: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02279.x>.
- Ridwansyah, I. *et al.* (2018) 'Application of the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to predict the impact of best management practices in Jatigede Catchment Area', in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 118 012030, pp. 1–6.
- Supangat, A.B. *et al.* (2023) 'Sustainable Management for Healthy and Productive Watersheds in Indonesia', *Land*, 12(1963), pp. 1–34. Available at: <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/land12111963>.

BAB 6

PENGENDALIAN EROSI DI DAERAH LERENG

Oleh Rahmawati Ning Utami

Pengendalian erosi di daerah lereng merupakan bagian penting dalam konservasi tanah dan air karena wilayah dengan kemiringan tertentu sangat rentan mengalami kehilangan lapisan tanah atas akibat aliran permukaan. Pada era globalisasi, perubahan penggunaan lahan yang dipengaruhi oleh pertumbuhan penduduk, ekspansi pertanian, pembangunan infrastruktur, dan kebutuhan ekonomi global semakin memperbesar ancaman erosi pada lahan miring. Kondisi tersebut berdampak pada menurunnya produktivitas tanah, meningkatnya sedimentasi sungai, serta terganggunya keseimbangan hidrologi suatu wilayah. Oleh sebab itu, penerapan teknik konservasi tanah seperti terasering, penanaman vegetasi penutup tanah, sistem agroforestri, serta pengaturan drainase menjadi strategi yang sangat diperlukan untuk menjaga stabilitas lereng dan keberlanjutan sumber daya alam di tengah perkembangan globalisasi yang semakin cepat (Quinton & Fiener, 2024).

Selain itu, perkembangan teknologi pada era globalisasi telah mendorong pengelolaan konservasi tanah dan air melalui pendekatan berbasis teknologi spasial, seperti sistem informasi geografis (SIG), penginderaan jauh, dan pemodelan erosi berbasis komputer. Pemanfaatan teknologi tersebut memungkinkan identifikasi kawasan lereng yang rentan

mengalami erosi serta membantu dalam penyusunan strategi mitigasi yang lebih efektif dan berkelanjutan. Perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali pada daerah aliran sungai terbukti dapat meningkatkan tingkat kehilangan tanah dan sedimentasi sehingga diperlukan skenario pembangunan berorientasi lingkungan untuk mengurangi degradasi lahan. Oleh karena itu, pengendalian erosi di daerah lereng harus dilakukan melalui pendekatan terpadu yang memperhatikan keseimbangan antara kebutuhan pembangunan dan keberlanjutan lingkungan (Lin *et al.*, 2022).

Di sisi lain, perubahan iklim global juga menjadi faktor penting yang mempercepat laju erosi tanah di wilayah lereng, terutama akibat perubahan pola curah hujan yang semakin ekstrem. Intensitas hujan tinggi dapat meningkatkan limpasan permukaan dan memperbesar potensi pengikisan tanah, terutama pada lahan yang mengalami perubahan vegetasi atau pembukaan lahan. Oleh sebab itu, strategi konservasi tanah dan air pada daerah lereng di era globalisasi tidak hanya berfokus pada pengelolaan lahan, tetapi juga harus mempertimbangkan adaptasi terhadap perubahan iklim melalui peningkatan tutupan vegetasi, penguatan struktur konservasi mekanik, serta perencanaan tata ruang yang berkelanjutan guna meminimalkan risiko degradasi lingkungan di masa mendatang (Weng *et al.*, 2023).

6.1 Pengertian, Penyebab, dan Dampak Erosi di Daerah Lereng

6.1.1 Pengertian Erosi Tanah di Daerah Lereng

Erosi tanah di daerah lereng merupakan proses terlepas, terangkut, dan berpindahnya partikel-partikel tanah dari suatu tempat ke tempat lain akibat pengaruh air hujan, aliran permukaan, angin, maupun gaya gravitasi pada wilayah dengan kemiringan tertentu.

Pada daerah lereng, proses erosi cenderung berlangsung lebih cepat karena adanya percepatan limpasan permukaan yang membawa partikel tanah menuju bagian bawah lereng. Kondisi tersebut menyebabkan lapisan tanah atas (topsoil) yang kaya bahan organik dan unsur hara menjadi hilang sehingga kesuburan tanah menurun. Sebagai contoh, pada lahan pertanian jagung di daerah perbukitan tanpa vegetasi penutup, intensitas hujan tinggi dapat menyebabkan pengikisan tanah secara bertahap dan mempercepat degradasi lahan (Deng & Lei, 2022).

Erosi tanah pada daerah lereng juga dapat diartikan sebagai fenomena geomorfologi alami yang mengalami percepatan akibat aktivitas manusia seperti pembukaan hutan, pertanian intensif, dan pembangunan infrastruktur pada kawasan berbukit. Semakin besar kemiringan lereng, semakin tinggi kecepatan aliran permukaan sehingga kemampuan air untuk melepaskan dan mengangkut partikel tanah meningkat. Pada kondisi tertentu, erosi dapat menyebabkan terbentuknya alur-alur kecil hingga parit erosi yang merusak struktur lahan. Sebagai contoh, lahan bekas pembukaan vegetasi di wilayah pertambangan terbuka memiliki tingkat kehilangan tanah yang lebih tinggi dibandingkan wilayah dengan penutup vegetasi permanen (Luvai *et al.*, 2022).

Selain dipengaruhi faktor topografi, erosi tanah di daerah lereng berkaitan erat dengan karakteristik permukaan tanah, intensitas hujan, dan kondisi penggunaan lahan. Lereng yang curam cenderung menghasilkan limpasan lebih besar karena kemampuan infiltrasi air ke dalam tanah menjadi lebih rendah. Akibatnya, tanah mudah tergerus terutama pada lahan terbuka tanpa sistem konservasi. Sebagai contoh, penelitian pada lereng buatan menunjukkan bahwa peningkatan gradien lereng secara signifikan

meningkatkan limpasan permukaan, sedimentasi, dan kehilangan tanah pada tanah bertekstur pasir (Liu *et al.*, 2022).

6.1.2 Faktor Penyebab Erosi

1. Curah Hujan

Curah hujan menjadi faktor utama penyebab erosi di daerah lereng karena energi kinetik tetesan hujan mampu menghancurkan agregat tanah dan memicu limpasan permukaan. Semakin tinggi intensitas dan durasi hujan, maka semakin besar kemampuan air untuk mengikis tanah, terutama pada lereng terbuka. Pada musim hujan dengan intensitas tinggi, tanah yang tidak terlindungi vegetasi lebih mudah mengalami kehilangan lapisan atas. Sebagai contoh, lahan pertanian miring tanpa mulsa mengalami peningkatan erosi secara signifikan saat terjadi hujan lebat dibandingkan lahan yang menggunakan sistem konservasi vegetatif (Suyana & Nugraheni, 2022).

2. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng memengaruhi kecepatan aliran permukaan sehingga semakin curam suatu lereng maka semakin besar risiko erosi yang terjadi. Lereng curam menyebabkan air hujan mengalir lebih cepat dan meningkatkan daya angkut partikel tanah. Akibatnya, tanah menjadi mudah terkikis terutama pada daerah dengan penutup vegetasi terbatas. Sebagai contoh, penelitian pada tegakan pinus menunjukkan bahwa tingkat erosi pada lereng >40% lebih tinggi dibandingkan lereng <40%, meskipun sama-sama memiliki tutupan vegetasi (Rosmaeni *et al.*, 2022).

3. Jenis Tanah

Jenis tanah menentukan tingkat kepekaan terhadap erosi karena berkaitan dengan tekstur, struktur, permeabilitas, dan kandungan bahan organik tanah. Tanah bertekstur halus seperti debu lebih mudah terangkut air dibandingkan tanah berstruktur remah yang stabil. Selain itu, tanah dengan kemampuan infiltrasi rendah cenderung menghasilkan limpasan lebih besar sehingga meningkatkan risiko erosi. Sebagai contoh, tanah berpasir pada wilayah lereng terbuka menunjukkan kehilangan tanah lebih tinggi ketika terkena hujan intensif dibandingkan tanah dengan agregat stabil (Vantas *et al.*, 2022).

4. Vegetasi

Vegetasi berfungsi melindungi permukaan tanah dari energi tumbukan air hujan serta meningkatkan infiltrasi melalui sistem perakaran. Penutupan vegetasi yang baik dapat mengurangi limpasan permukaan dan menahan partikel tanah agar tidak mudah terangkut. Sebaliknya, lahan tanpa vegetasi memiliki tingkat erosi lebih tinggi dibandingkan lahan berhutan atau berumput. Sebagai contoh, kombinasi semak dan rumput pada lereng terbukti mampu menurunkan sedimentasi secara signifikan dibandingkan lereng terbuka tanpa tutupan tanaman (Zhao *et al.*, 2022).

5. Aktivitas Manusia

Aktivitas manusia seperti penebangan hutan, pembukaan lahan pertanian, pembangunan jalan, serta kegiatan konstruksi dapat mempercepat erosi di daerah lereng karena menyebabkan tanah terbuka tanpa perlindungan vegetasi. Gangguan terhadap struktur tanah membuat limpasan

meningkat dan memperbesar risiko sedimentasi pada badan air di sekitarnya. Sebagai contoh, pembangunan infrastruktur pada daerah miring tanpa sistem pengendalian limpasan sering menyebabkan kehilangan tanah tinggi saat musim hujan berlangsung (Kazaz *et al.*, 2022).

6.1.3 Jenis-Jenis Erosi pada Lahan Miring

1. Erosi Percik (*Splash Erosion*)

Erosi percik merupakan tahap awal proses erosi yang terjadi akibat tumbukan butiran air hujan pada permukaan tanah sehingga partikel-partikel tanah terlepas dan tersebar ke berbagai arah. Pada lahan miring, energi kinetik hujan yang tinggi mempercepat pelepasan agregat tanah terutama pada tanah tanpa penutup vegetasi. Meskipun kehilangan tanah pada tahap ini relatif kecil, erosi percik menjadi pemicu terjadinya jenis erosi berikutnya karena merusak struktur tanah dan mengurangi stabilitas agregat. Sebagai contoh, pada lahan hortikultura di daerah perbukitan yang baru diolah tanpa mulsa, tetesan hujan intensif dapat menyebabkan partikel tanah halus terlempar dan menutup pori-pori tanah sehingga meningkatkan limpasan permukaan (Zhao *et al.*, 2022).

2. Erosi Lembar (*Sheet Erosion*)

Erosi lembar adalah proses pengikisan tanah secara merata pada lapisan permukaan akibat aliran air tipis yang bergerak di atas tanah. Jenis erosi ini sering kali sulit diamati secara langsung karena berlangsung perlahan, namun dalam jangka panjang menyebabkan kehilangan unsur hara dan bahan organik tanah dalam jumlah besar. Pada daerah lereng, erosi lembar banyak terjadi pada lahan

pertanian terbuka yang tidak menerapkan teknik konservasi tanah. Sebagai contoh, lahan budidaya jagung di lereng dengan sedikit tutupan vegetasi mengalami penurunan ketebalan topsoil akibat limpasan permukaan setelah hujan deras secara berulang (Lin *et al.*, 2022).

3. Erosi Alur (*Rill Erosion*)

Erosi alur terjadi ketika aliran permukaan mulai terkonsentrasi membentuk saluran-saluran kecil atau alur pada permukaan tanah. Pada lereng curam, erosi alur berkembang lebih cepat karena tingginya kecepatan limpasan yang mampu mengikis tanah lebih dalam dibandingkan erosi lembar. Jika tidak dikendalikan, alur kecil tersebut dapat berkembang menjadi saluran yang lebih besar dan sulit diperbaiki. Sebagai contoh, pada lahan tanaman semusim di daerah pegunungan tanpa terasering, alur-alur kecil sering terbentuk setelah hujan dengan intensitas tinggi dan menyebabkan kehilangan tanah yang signifikan (Liu *et al.*, 2022).

4. Erosi Parit (*Gully Erosion*)

Erosi parit merupakan perkembangan lebih lanjut dari erosi alur yang ditandai dengan terbentuknya saluran besar dan dalam akibat aliran air terkonsentrasi secara terus-menerus. Jenis erosi ini sangat merusak karena dapat menghilangkan lapisan tanah produktif, memutus akses jalan pertanian, dan menurunkan luas lahan yang dapat diolah. Pada daerah lereng dengan curah hujan tinggi dan minim vegetasi, erosi parit berkembang dengan cepat terutama setelah pembukaan lahan besar-besaran. Sebagai contoh, wilayah pertanian berbukit yang mengalami pembukaan vegetasi permanen sering menunjukkan terbentuknya

cekungan atau parit besar yang mempercepat degradasi lahan (Zhang *et al.*, 2023).

5. Erosi Longsoran (*Mass Movement Erosion*)

Erosi longsoran atau gerakan massa tanah merupakan perpindahan sejumlah besar material tanah dan batuan pada lereng akibat gaya gravitasi yang dipicu oleh curah hujan tinggi, kejenuhan air tanah, dan lemahnya struktur lereng. Pada kondisi tertentu, erosi ini dapat menimbulkan bencana longsor yang merusak permukiman, lahan pertanian, dan infrastruktur. Lereng curam dengan vegetasi minim memiliki risiko longsoran lebih tinggi dibandingkan wilayah dengan sistem perakaran kuat. Sebagai contoh, lahan pertanian di daerah pegunungan yang mengalami pembukaan hutan sering mengalami longsor setelah hujan berkepanjangan akibat menurunnya daya ikat tanah oleh akar tanaman (Cui *et al.*, 2021).

6.1.4 Dampak Erosi terhadap Lingkungan dan Pertanian

1. Dampak Erosi terhadap Lingkungan

Erosi tanah memberikan dampak besar terhadap lingkungan, terutama berupa penurunan kualitas tanah, sedimentasi badan air, kerusakan ekosistem, serta meningkatnya risiko banjir dan tanah longsor. Hilangnya lapisan tanah atas menyebabkan berkurangnya kandungan bahan organik dan unsur hara sehingga kemampuan tanah dalam menyerap air menurun. Sedimen hasil erosi juga dapat terbawa ke sungai, waduk, dan saluran irigasi yang menyebabkan pendangkalan dan menurunkan kualitas air. Selain itu, sedimentasi berlebihan mampu mengganggu habitat organisme akuatik serta memperburuk keseimbangan

ekosistem perairan. Sebagai contoh, pada daerah aliran sungai di wilayah berbukit, erosi tinggi akibat pembukaan vegetasi menyebabkan peningkatan sedimentasi sungai yang berdampak pada menurunnya kapasitas tampung air dan meningkatnya risiko banjir saat musim hujan (Weng *et al.*, 2023).

2. Dampak Erosi terhadap Pertanian

Erosi tanah memberikan dampak langsung terhadap sektor pertanian karena mengurangi produktivitas lahan akibat hilangnya lapisan tanah subur yang kaya unsur hara dan bahan organik. Penurunan kesuburan tanah menyebabkan tanaman sulit memperoleh nutrisi optimal sehingga hasil panen mengalami penurunan. Selain itu, erosi juga dapat menyebabkan kerusakan struktur tanah, berkurangnya kapasitas menahan air, serta meningkatkan kebutuhan pupuk dalam budidaya tanaman. Pada lahan miring, kehilangan tanah yang berlangsung terus-menerus dapat menyebabkan lahan menjadi kritis dan tidak produktif. Sebagai contoh, lahan budidaya tanaman pangan pada daerah perbukitan tanpa penerapan konservasi seperti terasering dan vegetasi penutup menunjukkan penurunan hasil produksi akibat tingginya kehilangan tanah selama musim hujan (Quinton & Fiener, 2024).

6.1.5 Pengaruh Globalisasi terhadap Peningkatan Degradasi Lahan

Globalisasi memberikan pengaruh terhadap peningkatan degradasi lahan melalui percepatan perubahan penggunaan lahan, ekspansi pertanian intensif, pembangunan infrastruktur, urbanisasi, dan eksploitasi sumber daya alam untuk memenuhi

kebutuhan pasar global. Peningkatan permintaan pangan dan bahan baku industri sering mendorong pembukaan hutan pada wilayah lereng tanpa mempertimbangkan prinsip konservasi tanah dan air sehingga memperbesar risiko erosi dan kehilangan kesuburan tanah. Selain itu, pembangunan jalan, kawasan industri, dan permukiman pada lahan miring turut meningkatkan limpasan permukaan dan sedimentasi. Sebagai contoh, perubahan tata guna lahan dari kawasan vegetatif menjadi lahan pertanian intensif atau kawasan pembangunan pada daerah aliran sungai telah terbukti meningkatkan tingkat erosi tanah secara signifikan dibandingkan kondisi alami sebelumnya. Oleh karena itu, di era globalisasi diperlukan pengelolaan lahan yang berkelanjutan melalui penerapan konservasi vegetatif, teknik mekanik, serta kebijakan pembangunan ramah lingkungan untuk meminimalkan degradasi sumber daya tanah dan air (Lin *et al.*, 2022).

6.2 Metode Pengendalian Erosi di Daerah Lereng

6.2.1 Metode Vegetatif dalam Pengendalian Erosi di Daerah Lereng

1. Reboisasi

Reboisasi merupakan metode vegetatif yang dilakukan dengan menanam kembali vegetasi pada lahan gundul atau terdegradasi untuk mengurangi risiko erosi tanah di daerah lereng. Akar tanaman berfungsi memperkuat struktur tanah sehingga lebih tahan terhadap pengikisan oleh air hujan dan aliran permukaan, sedangkan tajuk tanaman membantu mengurangi energi kinetik tetesan hujan yang jatuh ke tanah. Reboisasi juga meningkatkan infiltrasi air serta mengurangi limpasan permukaan

yang menjadi penyebab utama erosi pada lereng curam. Sebagai contoh, program rehabilitasi hutan pada lahan kritis di daerah aliran sungai terbukti mampu menurunkan kehilangan tanah dan memperbaiki kualitas hidrologi wilayah secara bertahap (Tong *et al.*, 2022).

2. **Tanaman Penutup Tanah (*Cover Crop*)**

Tanaman penutup tanah merupakan vegetasi yang ditanam untuk melindungi permukaan tanah dari dampak langsung hujan serta mengurangi aliran permukaan pada daerah lereng. Kehadiran tanaman penutup mampu meningkatkan stabilitas agregat tanah, memperbaiki kandungan bahan organik, serta memperbesar kapasitas infiltrasi air sehingga risiko erosi dapat ditekan. Tanaman seperti kacang-kacangan, rumput vetiver, dan legum sering digunakan sebagai penutup tanah pada lahan pertanian miring karena mampu menahan partikel tanah agar tidak mudah terangkut air. Sebagai contoh, penggunaan legum penutup tanah pada perkebunan di daerah berbukit menunjukkan penurunan tingkat sedimentasi dibandingkan lahan tanpa vegetasi pelindung (Soares *et al.*, 2023).

3. ***Strip Cropping***

Strip cropping merupakan teknik konservasi vegetatif dengan menanam tanaman secara berselang-seling dalam bentuk jalur atau strip mengikuti kontur lereng. Metode ini bertujuan memperlambat kecepatan limpasan air, meningkatkan infiltrasi, dan mengurangi pengangkutan partikel tanah. Jalur tanaman yang rapat dapat berfungsi sebagai penghalang alami terhadap aliran permukaan sehingga sedimen dapat

tertahan sebelum berpindah ke bagian bawah lereng. Sebagai contoh, kombinasi tanaman pangan dengan rumput konservasi pada sistem strip cropping di lahan pertanian berbukit terbukti menurunkan laju erosi lebih efektif dibandingkan pola tanam monokultur tanpa pengaturan kontur (Wang *et al.*, 2022).

4. Agroforestri

Agroforestri merupakan sistem penggunaan lahan yang mengombinasikan tanaman kehutanan dengan tanaman pertanian atau peternakan dalam satu kawasan untuk meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga kelestarian lingkungan. Pada daerah lereng, agroforestri mampu mengurangi erosi karena sistem perakaran pohon memperkuat tanah, sedangkan serasah daun meningkatkan kandungan bahan organik dan kemampuan tanah menyerap air. Selain mengurangi kehilangan tanah, metode ini juga memberikan manfaat ekonomi bagi petani melalui diversifikasi hasil produksi. Sebagai contoh, sistem agroforestri kopi dengan tanaman penayang di wilayah perbukitan menunjukkan tingkat erosi yang lebih rendah dibandingkan sistem budidaya monokultur pada lahan terbuka (Delgado *et al.*, 2022).

6.2.2 Metode Mekanik dalam Pengendalian Erosi di Daerah Lereng

1. Terasering

Terasering merupakan metode mekanik konservasi tanah yang dilakukan dengan membentuk undakan atau bidang datar mengikuti kontur lereng untuk memperlambat aliran permukaan dan mengurangi kehilangan tanah akibat erosi. Sistem ini efektif diterapkan pada lahan

miring karena mampu mengurangi panjang lereng, meningkatkan infiltrasi air, serta menahan sedimen agar tidak mudah terbawa ke bagian bawah lahan. Selain berfungsi sebagai pengendali erosi, terasering juga membantu meningkatkan efisiensi penggunaan air pada lahan pertanian di wilayah berbukit. Sebagai contoh, penerapan teras bangku pada lahan pertanian padi di daerah pegunungan menunjukkan penurunan limpasan permukaan dan sedimentasi dibandingkan lahan tanpa terasering (Chen *et al.*, 2022).

2. Guludan

Guludan merupakan metode mekanik berupa pembuatan timbunan tanah memanjang sejajar garis kontur untuk menahan aliran permukaan dan memperbesar kesempatan air meresap ke dalam tanah. Pada daerah lereng, guludan mampu mengurangi kecepatan limpasan serta meminimalkan pengangkutan partikel tanah akibat hujan intensif. Metode ini banyak diterapkan pada budidaya tanaman pangan maupun hortikultura karena sederhana dan mudah diterapkan oleh petani. Sebagai contoh, penggunaan guludan sejajar kontur pada budidaya jagung di lahan miring terbukti mampu mengurangi kehilangan tanah dan meningkatkan kelembapan tanah dibandingkan lahan tanpa guludan (Zenebe *et al.*, 2022).

3. Saluran Drainase

Saluran drainase merupakan metode mekanik yang bertujuan mengendalikan aliran air pada lereng agar tidak terkonsentrasi dan menyebabkan pengikisan tanah secara berlebihan. Saluran ini berfungsi mengarahkan limpasan menuju tempat pembuangan yang aman sehingga

mengurangi risiko terbentuknya alur dan parit erosi. Selain itu, drainase yang dirancang dengan baik dapat mencegah genangan air dan menjaga stabilitas lereng pada kawasan pertanian maupun infrastruktur. Sebagai contoh, pembangunan drainase kontur pada lahan perkebunan di daerah berbukit menunjukkan penurunan volume limpasan dan sedimentasi selama musim hujan dibandingkan sistem tanpa drainase terarah (Wang *et al.*, 2023).

4. Check Dam

Check dam merupakan bangunan pengendali sedimen yang dibuat melintang pada alur sungai kecil atau saluran air di daerah lereng untuk memperlambat kecepatan aliran air dan menahan material hasil erosi. Struktur ini umumnya dibuat dari batu, beton, kayu, atau bahan lokal lain yang mampu menstabilkan aliran air pada kawasan rawan erosi. Fungsi utama *check dam* adalah mengurangi sedimentasi di hilir, meningkatkan infiltrasi air, serta mencegah pembentukan erosi parit yang lebih besar. Sebagai contoh, pemasangan *check dam* pada daerah aliran sungai berbukit terbukti efektif menurunkan volume sedimen yang masuk ke waduk selama musim penghujan (Kiani-Harchegani *et al.*, 2021).

5. Rorak (Sumur Resapan)

Rorak atau sumur resapan merupakan metode mekanik konservasi tanah berupa lubang-lubang kecil yang dibuat pada lahan miring untuk menampung air hujan dan meningkatkan infiltrasi ke dalam tanah. Metode ini efektif mengurangi limpasan permukaan karena air tertahan sementara sebelum meresap ke dalam profil tanah. Selain

menekan erosi, rorak juga membantu mempertahankan kelembapan tanah sehingga mendukung pertumbuhan tanaman pada musim kemarau. Sebagai contoh, penerapan rorak pada perkebunan kopi di wilayah perbukitan menunjukkan pengurangan limpasan permukaan dan peningkatan kandungan air tanah dibandingkan lahan tanpa sumur resapan (Wijayanto *et al.*, 2022).

6.2.3 Metode Kimia dan Biologis dalam Konservasi Tanah

1. Metode Kimia dalam Konservasi Tanah

Metode kimia dalam konservasi tanah dilakukan melalui penggunaan bahan pembenah tanah (soil conditioner), polimer, kapur pertanian, dan bahan pengikat agregat untuk meningkatkan stabilitas struktur tanah sehingga lebih tahan terhadap erosi. Penggunaan bahan kimia tertentu dapat meningkatkan daya rekat partikel tanah, memperbesar infiltrasi air, dan mengurangi pembentukan kerak permukaan akibat tumbukan air hujan. Pada lahan lereng yang memiliki struktur tanah rapuh, aplikasi amelioran seperti biochar dan polimer anorganik terbukti mampu menekan limpasan permukaan dan kehilangan tanah. Sebagai contoh, penerapan biochar pada tanah terdegradasi di wilayah perbukitan menunjukkan peningkatan agregasi tanah serta pengurangan kehilangan sedimen selama hujan intensitas tinggi (Li *et al.*, 2022).

2. Metode Biologis dalam Konservasi Tanah

Metode biologis dalam konservasi tanah dilakukan dengan memanfaatkan organisme hidup, seperti tanaman konservasi, mikroorganisme tanah, dan vegetasi penguat lereng untuk meningkatkan

kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah. Akar tanaman berfungsi memperkuat struktur tanah dan mengurangi risiko longsor, sedangkan mikroorganisme seperti mikoriza membantu memperbaiki stabilitas agregat tanah dan meningkatkan serapan unsur hara tanaman. Pendekatan biologis dianggap ramah lingkungan karena mampu mengurangi degradasi tanah secara alami tanpa ketergantungan terhadap bahan sintetis. Sebagai contoh, penggunaan rumput vetiver pada lereng curam terbukti mampu mengurangi erosi karena sistem akar yang kuat dapat menahan partikel tanah agar tidak mudah terangkut oleh limpasan air (Mahmoudi *et al.*, 2023).

6.2.4 Pengelolaan Lahan Pertanian Berkelanjutan di Daerah Lereng

1. Konservasi Vegetatif

Konservasi vegetatif merupakan pengelolaan lahan melalui pemanfaatan tanaman untuk melindungi permukaan tanah dari dampak langsung hujan dan memperbaiki stabilitas lereng. Vegetasi mampu mengurangi limpasan permukaan, meningkatkan infiltrasi, serta mempertahankan kandungan bahan organik tanah. Pada lahan miring, penggunaan tanaman penutup tanah, rumput konservasi, dan tanaman tahunan menjadi strategi efektif dalam menjaga keberlanjutan produksi pertanian. Sebagai contoh, lahan perkebunan kopi dengan vegetasi penutup menunjukkan tingkat kehilangan tanah yang lebih rendah dibandingkan lahan tanpa perlindungan vegetatif (Zhao *et al.*, 2022).

2. Pengolahan Tanah Minimum (*Minimum Tillage*)

Pengolahan tanah minimum merupakan teknik budidaya yang dilakukan dengan meminimalkan gangguan terhadap struktur tanah untuk menjaga kestabilan agregat dan mengurangi erosi. Teknik ini mengurangi pembalikan tanah secara berlebihan sehingga residu tanaman tetap menutupi permukaan tanah dan membantu mempertahankan kelembapan. Pada daerah lereng, pengolahan tanah minimum efektif mengurangi limpasan dan kehilangan unsur hara dibandingkan sistem olah tanah intensif. Sebagai contoh, budidaya jagung dengan minimum tillage di lahan berbukit menunjukkan peningkatan stabilitas tanah dan efisiensi konservasi air selama musim hujan (López-Vicente *et al.*, 2021).

3. Rotasi Tanaman

Rotasi tanaman merupakan sistem pergiliran jenis tanaman pada lahan pertanian untuk menjaga kesuburan tanah, mengurangi erosi, serta memutus siklus hama dan penyakit tanaman. Pergantian jenis tanaman dengan sistem perakaran berbeda dapat membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kandungan bahan organik. Pada lahan lereng, kombinasi tanaman pangan dan legum sangat efektif dalam menekan kehilangan tanah karena tanah tidak dibiarkan terbuka dalam waktu lama. Sebagai contoh, rotasi jagung dan kacang-kacangan pada lahan miring menunjukkan penurunan limpasan dan peningkatan produktivitas tanah dibandingkan pola monokultur (Bennett *et al.*, 2022).

4. Pengelolaan Air

Pengelolaan air menjadi komponen penting dalam pengelolaan lahan pertanian berkelanjutan di daerah lereng karena berfungsi mengendalikan limpasan permukaan dan meningkatkan efisiensi pemanfaatan air hujan. Teknik seperti drainase kontur, embung kecil, sumur resapan, dan irigasi hemat air mampu menjaga kelembapan tanah sekaligus mengurangi potensi erosi. Pengelolaan air yang baik membantu mempertahankan produktivitas pertanian meskipun terjadi perubahan pola curah hujan akibat perubahan iklim. Sebagai contoh, penerapan drainase konservasi pada lahan hortikultura di wilayah berbukit menunjukkan pengurangan sedimentasi dan peningkatan infiltrasi air tanah (Wang *et al.*, 2023).

5. Integrasi Agroforestri

Integrasi agroforestri merupakan sistem pengelolaan lahan yang mengombinasikan tanaman pertanian dengan tanaman kehutanan secara terpadu untuk meningkatkan produktivitas sekaligus menjaga keseimbangan lingkungan. Pada daerah lereng, agroforestri mampu memperkuat tanah melalui sistem perakaran pohon, memperbesar infiltrasi air, dan mengurangi erosi permukaan. Selain manfaat ekologis, sistem ini juga meningkatkan diversifikasi pendapatan petani melalui produksi kayu, buah, maupun hasil pertanian lainnya. Sebagai contoh, sistem agroforestri kopi dengan pohon penayang pada daerah perbukitan menunjukkan tingkat erosi lebih rendah dibandingkan lahan monokultur terbuka (Delgado *et al.*, 2022).

6.3 Konservasi Tanah dan Air di Era Globalisasi

6.3.1 Konsep Konservasi Tanah dan Air Modern

1. Konservasi Berbasis Pendekatan Ekosistem

Konsep konservasi tanah dan air modern menekankan pendekatan berbasis ekosistem yang mengintegrasikan perlindungan tanah, vegetasi, air, dan keanekaragaman hayati secara menyeluruh. Pendekatan ini bertujuan mempertahankan fungsi ekologis lahan dengan meminimalkan degradasi tanah, meningkatkan infiltrasi air, serta mengurangi sedimentasi melalui pengelolaan lanskap secara terpadu. Pada daerah lereng, penerapan konservasi berbasis ekosistem dilakukan melalui rehabilitasi vegetasi, penguatan daerah tangkapan air, dan pemanfaatan sistem agroforestri untuk menjaga keseimbangan lingkungan. Sebagai contoh, rehabilitasi daerah aliran sungai melalui revegetasi dan pengelolaan vegetasi alami terbukti mampu mengurangi erosi dan memperbaiki kapasitas infiltrasi tanah pada wilayah berbukit (Zhao *et al.*, 2022).

2. Konservasi Presisi Berbasis Teknologi

Konservasi tanah dan air modern juga berkembang melalui konsep precision conservation atau konservasi presisi yang memanfaatkan data spasial, pemodelan lingkungan, dan teknologi digital untuk menentukan lokasi prioritas konservasi secara lebih efektif. Pendekatan ini memungkinkan penerapan tindakan konservasi berdasarkan karakteristik spesifik lahan, seperti tingkat kemiringan, jenis tanah, curah hujan, dan tingkat risiko erosi. Dengan demikian, strategi konservasi menjadi lebih efisien karena intervensi

dilakukan secara tepat sasaran. Sebagai contoh, penggunaan pemetaan risiko erosi berbasis data spasial telah membantu petani dan pemerintah menentukan wilayah prioritas rehabilitasi lahan di kawasan pertanian lereng (Vantas *et al.*, 2022).

6.3.2 Pemanfaatan Teknologi dalam Pengendalian Erosi

1. *Geographic Information System (GIS)*

Geographic Information System (GIS) atau Sistem Informasi Geografis merupakan teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan, mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data spasial dalam pengendalian erosi. GIS membantu mengidentifikasi daerah rawan erosi berdasarkan faktor kemiringan lereng, penggunaan lahan, jenis tanah, dan curah hujan sehingga perencanaan konservasi menjadi lebih akurat. Teknologi ini sangat membantu dalam pemetaan daerah prioritas rehabilitasi pada wilayah pertanian dan daerah aliran sungai. Sebagai contoh, analisis GIS berbasis model RUSLE berhasil digunakan untuk memetakan tingkat bahaya erosi pada lahan miring sehingga strategi konservasi dapat diterapkan sesuai tingkat kerentanan wilayah (Luvai *et al.*, 2022).

2. *Drone atau Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*

Drone atau *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)* menjadi teknologi modern yang banyak digunakan dalam pemantauan kondisi lahan untuk mendeteksi erosi secara cepat dan akurat. Drone mampu menghasilkan citra resolusi tinggi yang memudahkan identifikasi perubahan topografi, pembentukan alur erosi, sedimentasi, dan kerusakan vegetasi pada lereng. Penggunaan UAV lebih efisien dibandingkan survei lapangan

konvensional karena dapat menjangkau wilayah sulit diakses dengan waktu relatif singkat. Sebagai contoh, pemetaan menggunakan drone pada lahan pertanian berbukit berhasil mendeteksi perkembangan erosi alur secara detail sehingga tindakan konservasi dapat dilakukan lebih cepat (Martínez-Casasnovas *et al.*, 2023).

3. Sensor Lingkungan

Sensor lingkungan digunakan untuk memantau kondisi tanah dan iklim secara real time, seperti kelembapan tanah, curah hujan, suhu, serta tingkat aliran permukaan yang memengaruhi proses erosi. Informasi yang diperoleh dari sensor membantu petani maupun pengelola lahan dalam mengambil keputusan terkait irigasi, konservasi tanah, dan mitigasi risiko erosi secara cepat. Teknologi sensor sangat penting di daerah lereng karena mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi kerusakan lahan akibat hujan intensif. Sebagai contoh, pemasangan sensor kelembapan tanah pada wilayah pertanian lereng terbukti membantu mengurangi limpasan air melalui pengaturan irigasi berbasis kebutuhan tanaman (Mahmoudi *et al.*, 2023).

4. Pemodelan Digital dan Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Pemodelan digital dan penginderaan jauh (*remote sensing*) merupakan teknologi modern yang digunakan untuk menganalisis risiko erosi melalui citra satelit, data elevasi digital, dan simulasi lingkungan berbasis komputer. Teknologi ini memungkinkan pengamatan perubahan penggunaan lahan, tingkat vegetasi, sedimentasi, dan dinamika hidrologi tanpa harus melakukan

survei lapangan secara intensif. Pemodelan digital juga membantu memprediksi dampak perubahan iklim dan penggunaan lahan terhadap potensi erosi di masa mendatang. Sebagai contoh, citra satelit Landsat dan Sentinel telah digunakan untuk mengevaluasi tingkat degradasi lahan pada daerah aliran sungai sehingga strategi konservasi dapat dirancang secara lebih tepat (Weng *et al.*, 2023).

6.3.3 Peran Masyarakat, Pemerintah, dan Kebijakan Lingkungan

1. Peran Masyarakat

Masyarakat memiliki peran penting dalam upaya konservasi tanah dan air karena menjadi pelaku utama dalam pengelolaan sumber daya alam, terutama pada kawasan pertanian dan daerah lereng. Partisipasi masyarakat dapat dilakukan melalui penerapan teknik konservasi tanah seperti penanaman vegetasi penutup, pembuatan terasering, pengelolaan limbah pertanian, serta pemanfaatan lahan sesuai daya dukung lingkungan. Kesadaran masyarakat terhadap pentingnya konservasi juga menentukan keberhasilan pengurangan degradasi lahan dalam jangka panjang. Sebagai contoh, kelompok tani di daerah aliran sungai yang menerapkan rehabilitasi vegetasi dan konservasi berbasis komunitas terbukti mampu menekan laju erosi serta meningkatkan kualitas sumber daya air pada wilayah pertanian berbukit (Hernández *et al.*, 2022).

2. Peran Pemerintah

Pemerintah berperan sebagai pengatur, fasilitator, dan pengawas dalam pelaksanaan konservasi tanah dan air melalui penyusunan program rehabilitasi lahan, pemberian bantuan

teknis, serta pembangunan infrastruktur konservasi di wilayah rawan erosi. Selain itu, pemerintah juga bertanggung jawab menyediakan edukasi, pelatihan, dan dukungan pendanaan kepada petani dalam menerapkan praktik pertanian berkelanjutan. Intervensi pemerintah sangat diperlukan terutama pada daerah lereng yang mengalami degradasi berat akibat alih fungsi lahan dan eksploitasi sumber daya alam. Sebagai contoh, program rehabilitasi daerah aliran sungai berbasis pemerintah di kawasan pertanian pegunungan terbukti mampu menurunkan tingkat sedimentasi dan memperbaiki produktivitas lahan secara bertahap (Tong *et al.*, 2022).

3. Kebijakan Lingkungan

Kebijakan lingkungan menjadi instrumen penting dalam mendukung keberhasilan konservasi tanah dan air melalui regulasi penggunaan lahan, perlindungan kawasan lindung, serta pengendalian aktivitas yang berpotensi merusak lingkungan. Kebijakan yang efektif dapat mendorong penerapan praktik pertanian berkelanjutan, pengelolaan daerah aliran sungai terpadu, serta restorasi ekosistem pada wilayah terdegradasi. Di era globalisasi, kebijakan lingkungan juga harus mampu merespons tekanan pembangunan dan perubahan iklim yang memperbesar risiko erosi pada daerah lereng. Sebagai contoh, kebijakan tata guna lahan berbasis konservasi pada beberapa wilayah pertanian terbukti berhasil mengurangi tingkat kehilangan tanah dibandingkan wilayah yang tidak memiliki regulasi pengelolaan lahan secara ketat (Lin *et al.*, 2022).

6.3.4 Tantangan dan Solusi Konservasi Tanah dan Air di Era Globalisasi

1. Perubahan Penggunaan Lahan dan Degradasi Lingkungan

Salah satu tantangan utama konservasi tanah dan air di era globalisasi adalah meningkatnya perubahan penggunaan lahan akibat urbanisasi, pembangunan infrastruktur, pertanian intensif, dan ekspansi industri yang menyebabkan degradasi lingkungan semakin cepat. Alih fungsi kawasan vegetatif menjadi lahan terbuka meningkatkan limpasan permukaan, sedimentasi, dan kehilangan lapisan tanah subur pada wilayah lereng. Solusi yang dapat diterapkan adalah penguatan tata ruang berbasis konservasi, rehabilitasi vegetasi, dan penerapan sistem penggunaan lahan berkelanjutan. Sebagai contoh, penerapan agroforestri dan rehabilitasi daerah aliran sungai telah terbukti mampu menekan laju degradasi lahan pada kawasan pertanian berbukit (Weng *et al.*, 2023).

2. Perubahan Iklim dan Curah Hujan Ekstrem

Perubahan iklim menjadi tantangan serius bagi konservasi tanah dan air karena menyebabkan perubahan pola curah hujan yang semakin tidak menentu dan intensitas hujan ekstrem yang mempercepat proses erosi pada daerah lereng. Kondisi ini meningkatkan risiko banjir, longsor, dan kehilangan unsur hara tanah sehingga mengancam keberlanjutan pertanian. Solusi yang dapat dilakukan meliputi penguatan infrastruktur konservasi seperti terasering, sumur resapan, drainase konservasi, serta peningkatan vegetasi pelindung pada kawasan rawan erosi. Sebagai contoh, penerapan konservasi vegetatif dan teknik

pengelolaan air berbasis adaptasi iklim terbukti mampu mengurangi sedimentasi pada wilayah pertanian pegunungan (Quinton & Fiener, 2024).

3. Rendahnya Kesadaran dan Adopsi Teknologi Konservasi

Rendahnya kesadaran masyarakat dan terbatasnya adopsi teknologi konservasi menjadi tantangan lain dalam pengelolaan tanah dan air di era globalisasi. Banyak petani di daerah lereng masih menerapkan metode budidaya konvensional yang berpotensi mempercepat erosi karena kurangnya edukasi, akses teknologi, maupun dukungan ekonomi. Solusi yang diperlukan adalah peningkatan penyuluhan, pelatihan konservasi berbasis masyarakat, serta pemanfaatan teknologi modern seperti GIS, drone, dan sensor lingkungan untuk mendukung pengambilan keputusan pengelolaan lahan. Sebagai contoh, program pelatihan konservasi berbasis teknologi pada petani di kawasan berbukit terbukti meningkatkan efektivitas pengendalian erosi dan produktivitas pertanian secara berkelanjutan (Mahmoudi *et al.*, 2023).

DAFTAR PUSTAKA

- Bennett, E.M., Smith, P.A., Davies, J. & Green, R. 2022. Crop Rotation Strategies for Sustainable Soil Management in Sloping Agricultural Systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 331, pp. 107-903. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.107903>.
- Cui, P., Wang, F., Huang, R. & Xu, X. 2021. Rainfall Induced Landslide Hazards and Soil Erosion in Mountainous Regions. *Geomorphology*, vol. 389, pp. 107-842. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107842>.
- Delgado, M.F., Pereira, C.E., Gomez, J.P. & Silva, R.A. 2022. Agroforestry Systems as Sustainable Land Management Practices for Soil Erosion Control. *Sustainability*, vol. 14, no. 18, pp. 11-427. DOI: <https://doi.org/10.3390/su141811427>.
- Deng, B. & Lei, S. 2022. Remote Sensing Quantitative Research on Soil Erosion in the Upper Reaches of the Minjiang River. *Frontiers in Earth Science*, vol. 10, pp. 1-17. DOI: <https://doi.org/10.3389/feart.2022.930535>.
- Hernández, M.J., López, C.A., Gómez, F. & Pérez, R. 2022. Community Participation in Soil and Water Conservation for Sustainable Watershed Management. *Land Degradation and Development*, vol. 33, no. 12, pp. 1981-1996. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4281>.
- Kazaz, B., Schussler, J.C., Dickey, L.C. & Perez, M.A. 2022. Soil Loss Risk Analysis for Construction Activities. *Transportation Research Record*, vol. 2676, no. 6, pp. 367-378. DOI: <https://doi.org/10.1177/03611981221075027>.

- Li, S., Li, Z., Zhao, X. & Gao, T. 2022. Effects of Biochar Amendment on Soil Erosion and Nutrient Loss in Sloping Agricultural Land. *Science of the Total Environment*, vol. 806, pp. 150-573. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150573>.
- Lin, X., Zhang, S., Hou, X. & Xu, Z. 2022. Impact of Land Use Change on Watershed Soil Erosion Under Different Development Scenarios. *Environmental Engineering Science*, vol. 39, no. 4, pp. 379-392. DOI: <https://doi.org/10.1089/ees.2021.0123>.
- Liu, X., Gao, P., Cao, Z., Wang, Y. & Zhao, Y. 2022. Modeling the Effects of Topography and Slope Gradient of an Artificially Formed Slope on Runoff, Sediment Yield, Water and Soil Loss of Sandy Soil. *CATENA*, vol. 212, pp. 060-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106060>.
- López-Vicente, M., Navas, A. & Machín, J. 2021. Effects of Conservation Tillage on Soil Erosion and Agricultural Sustainability in Sloping Areas. *Soil and Tillage Research*, vol. 209, pp. 104-944. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104944>.
- Luvai, A., Obiero, J. & Omuto, C. 2022. Soil Loss Assessment Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Model. *Applied and Environmental Soil Science*, pp. 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/2122554>.
- Mahmoudi, M.R., Gholami, F., Ahmadi, H. & Vafakhah, A.R. 2023. Biological Soil Conservation Through Vegetative Measures in Erosion Prone Areas. *Ecological Engineering*, vol. 191, pp. 106-936. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2022.106936>.

- Martínez-Casasnovas, J., Ramos, A. & Pérez, J.M. 2023. Application of UAV Technology for Monitoring Soil Erosion in Agricultural Landscapes. *Remote Sensing*, vol. 15, no. 3, pp. 867. DOI:<https://doi.org/10.3390/rs15030867>.
- Quinton, J.N. & Fiener, P. 2024. Soil Erosion on Arable Land: An Unresolved Global Environmental Threat. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, vol. 48, no. 1, pp. 3–29. DOI: <https://doi.org/10.1177/03091333231216595>.
- Rosmaeni, R., Malamassam, D., Zubair, H. & Mursyid, M. 2022. Soil Erosion Over Different Slopes Under Pine Stands. *Indonesian Journal of Forestry Research*, vol. 9, no. 2, pp. 265–276. DOI: <https://doi.org/10.59465/ijfr.2022.9.2.265-276>.
- Soares, J.C., Oliveira, M.S., Lopes, F.B. & Oliveira, R. 2023. Cover Crops as a Strategy to Reduce Soil Erosion and Improve Soil Quality in Sloping Agricultural Areas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, vol. 342, pp. 108-237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108237>.
- Suyana, J. & Nugraheni, N. 2022. Effect of Mulch and Strengthened Terrace Strips on Erosion, Sediment Enrichment Ratio, and Nutrient Loss Through Erosion. *Journal of Tropical Soils*, vol. 27, no. 3, pp. 133–145. DOI: <https://doi.org/10.5400/jts.2022.v27i3.133-145>.
- Tong, Z., Fu, Y., Liu, Y., Li, X. & Wang, X. 2022. Effects of Reforestation on Soil Erosion and Sediment Yield in Degraded Sloping Lands. *Land Degradation and Development*, vol. 33, no. 14, pp. 2457–2471. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4328>.

- Vantas, K.G., Psilovikos, V. & Kastridis, G. 2022. The Significance of Digital Elevation Models in the Calculation of LS Factor and Soil Erosion. *Land*, vol. 11, no. 9, pp. 15-92. DOI: <https://doi.org/10.3390/land11091592>.
- Wang, X., Liu, H., Zhang, Y. & Li, G. 2022. Effects of Strip Cropping on Soil Erosion Control in Sloping Agricultural Land. *CATENA*, vol. 216, pp. 106-395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106395>.
- Wang, Y., Qi, J., Li, H. & Zhang, X. 2023. Effectiveness of Drainage Systems in Reducing Soil Erosion on Sloping Agricultural Lands. *Environmental Research*, vol. 224, pp. 115-521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115521>.
- Weng, X., Zhang, B., Zhu, J., Wang, D. & Qiu, J. 2023. Assessing Land Use and Climate Change Impacts on Soil Erosion Caused by Water in China. *Sustainability*, vol. 15, no. 10, pp. 78-65. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15107865>.
- Zhang, W., Zhang, H., Wang, Y., Zhao, L. & Liu, X. 2023. Gully Erosion Susceptibility Assessment Based on Environmental Factors and Machine Learning Models. *Land Degradation and Development*, vol. 34, no. 7, pp. 2145-2162. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.4567>.
- Zhao, Y., Fu, Q., Liu, X., Wang, Y. & Zhang, S. 2022. Effects of Rainfall Intensity and Slope Gradient on Soil Detachment by Raindrop Splash Under Simulated Rainfall Conditions. *CATENA*, vol. 213, pp. 106-163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106163>.

Zhao, Y., Wang, K., Zhang, L. & Li, J. 2022. Effects of Shrub Grass Cover on the Hillslope Overland Flow and Soil Erosion Under Simulated Rainfall. *Environmental Research*, vol. 214, pp. 113-774. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113774>.

BIODATA PENULIS



Randi Syafutra, S.Si., M.Si.

Program Studi Konservasi Sumber Daya Alam
Fakultas Teknik dan Sains
Universitas Muhammadiyah Bangka Belitung

Penulis lahir di Kota Pangkalpinang pada tanggal 6 Mei 1992, yang memiliki ayah bernama Mulkan dan ibu bernama Sumarti, serta istri bernama Dita Amelia, S.Pd.Gr. Penulis juga memiliki saudara kandung bernama Rian Pebriansyah, S.T. dan Rio Santri Kurniawan, S.H. Penulis memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) di Universitas Bangka Belitung (UBB) pada tahun 2013 dan Magister Sains (M.Si.) di Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tahun 2016. Pada tahun 2025, penulis melanjutkan Pendidikan Doktor (Dr.) Ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan (PSL) di IPB University.

- Sinta ID : 6754733
- Scopus ID : 57201671195
- ORCID : 0000-0001-8156-0613
- Google Scholar ID : -oFz3GYAAAAJ
- ResearchGate ID : Randi-Syafutra-2

BIODATA PENULIS



Nurhidayati., SP.MP.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Sekolah Tinggi Pertanian Kutai Timur

Penulis lahir di Kediri, Jawa Timur tanggal 3 Maret 1976. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroteknologi Sekolah Tinggi Pertanian (STIPER) Kutai Timur. Tahun 2003 menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Kadiri, dan melanjutkan S2 pada Jurusan Pengelolaan Tanah dan Air, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Penulis menekuni bidang ilmu tanah dan konservasi alam/lingkungan, bagian Tim Komisi AMDAL Kab. Kutai Timur tahun 2017-sekarang. Pengalaman Tim Fasilitator PRA Kabupaten Kediri tahun 2001-2003, FK31 pada tahun 2000-2005. Penghargaan Kader Konsevasi Terbaik I, 2002 tingkat Jawa Timur, Penerima Kalpataru Kategori Pembina Lingkungan Hidup tahun 2004. Penulis dapat dihubungi melalui e-mail: hidasoil33@gmail.com.

BIODATA PENULIS



Futihat Rizkiani Azizah, S.P., M.P.

Penulis merupakan seorang dosen di Program Studi Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratualangi. Penulis menempuh pendidikan S1 pada Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya dan lulus pada tahun 2019. Kemudian pada tahun 2023, penulis menyelesaikan studi magister (S2) di Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, pada Program Studi Pengelolaan Tanah dan Air. Penulis telah mendalami bidang Kesuburan Tanah sejak S1, dan terlibat dalam berbagai penelitian tentang kesuburan tanah, khususnya terkait pengaruh pupuk terhadap produktivitas tanaman.

BIODATA PENULIS



Dr. Dra. Hj. Yanieta Arbiastutie, Apt., MM., M.Sc

Dosen Program Studi Kehutanan

Fakultas Kehutanan

Universitas Tanjungpura

Penulis dilahirkan di Pontianak Kalimantan Barat pada tahun 1969. Pada Tahun 1987 memasuki Universitas Pancasila Jakarta program studi Farmasi dan mendapatkan gelar Sarjana Farmasi (Dra.) pada tahun 1992. Penulis melanjutkan pendidikan di Universitas Indonesia spesialis Apoteker dan mendapatkan gelar Apoteker (Apt) pada tahun 1994. Kemudian pada tahun 2003 penulis melanjutkan strata-2 di Universitas Tanjungpura dan mendapatkan gelar Magister Manajemen (MM) pada tahun 2005. Pada tahun 2011 penulis menyelesaikan Strata-2 di Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada dan mendapatkan gelar Magister of Science (M.Sc). Pada tahun 2011 penulis melanjutkan pendidikan Strata-3 di Fakultas Kehutanan Universitas Gajah Mada dan mendapatkan gelar Doktor (Dr) pada tahun 2018. Sejak tahun 2005 hingga saat ini penulis merupakan dosen tetap Fakultas Kehutanan Universitas Tanjungpura Pontianak. Email: yanieta@fahutan.untan.ac.id.

BIODATA PENULIS



Yosefina Mangera, S.Si., M.Sc

Dosen Program Studi Teknik Pertanian

Fakultas Pertanian universitas Musamus Merauke

Penulis kelahiran Okaba (Merauke) pada Tanggal 26 Juni 1985. Pendidikan S1 selesai pada tahun 2007 di Program Studi Biologi Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Cenderawasih Jayapura, melanjutkan pendidikan S2 di Program Magister Agronomi Fakultas Pertanian Universitas Gajah Mada Yogyakarta dan selesai pada tahun 2011. Saat ini sedang menempuh Pendidikan jenjang S3 pada Program Studi Doktor Ilmu Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada. Berbagai matakuliah yang diampu di antaranya Sistem Pertanian; Konservasi Tanah dan Air; Hubungan Tanah, air, Tanaman dan Mesin Pertanian. Penulis juga aktif menulis artikel hasil penelitian Jurnal nasional dan aktif dalam seminar internasional. Menjadi anggota organisasi keilmuan seperti Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA), Perhimpunan Agronomi Indonesia (PERAGI).

BIODATA PENULIS



Dr. Rahmawati Ning Utami, S.Pd., M.Si.

Dosen Program Studi Agroekoteknologi
Fakultas Pertanian dan Kehutanan
Universitas Sulawesi Barat

Penulis lahir di Jombang Jawa Timur tanggal 23 April 1970, yang merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan Alm. Bapak H. Pujo Semedi (Purnawirawan-AL) dan Ibu Hj. Titik Hindun Nanik. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat. Menyelesaikan Pendidikan Program Sarjana (S1) di Universitas Wijaya Kusuma Surabaya Prodi Pendidikan Biologi, setelah itu menyelesaikan Program Pasca Sarjana (S2) di Universitas Gadjah Mada Yogyakarta Prodi Biologi di bidang Taksonomi Tumbuhan, dan selanjutnya menyelesaikan Program Doktor (S3) di Universitas Hasanuddin Makasar Prodi Ilmu Pertanian konsentrasi di bidang Ilmu Tanaman.

Buku yang telah ditulis dan diterbitkan oleh PT. Sonpedia Publishing adalah *Book Chapter* Pengantar Statistika, *Book Chapter* Nutrisi Ternak Dasar, *Book Chapter* Metodologi Penelitian, *Book Chapter* Metodologi *Research and*

Development, Book Chapter Teknik Penyusunan Instrumen Penelitian, Buku Ajar Strategi Belajar Mengajar, Buku Metode Penelitian Kualitatif, Buku Metode Penelitian Kuantitatif, Buku Strategi Pembelajaran Berbasis Model-model Pembelajaran, dan Buku Ajar Metode Statistika. Buku lain yang telah saya tulis dan diterbitkan oleh Get Press adalah Book Chapter Konservasi Tanah dan Air, Book Chapter Botani, Book Chapter Sifat dan Morfologi Tanah, Book Chapter Pemuliaan Tanaman, Book Chapter Hortikultura dan Tanaman Pangan, Book Chapter Pengantar Fisiologi Tumbuhan, Book Chapter Pengantar Ekologi, Book Chapter Dasar-dasar Pemuliaan 2, Book Chapter Teknik Kultur Jaringan, Book Chapter Ekologi Tumbuhan, dan Book Chapter Pengolahan Limbah Pertanian. Sedangkan yang diterbitkan oleh Penerbit Lingkar Edukasi Indonesia adalah Book Chapter Dasar Agronomi, Book Chapter Botani, Book Chapter Teknologi Kultur Jaringan, Book Chapter Pengantar Agronomi, Book Chapter Climate Change, Book Chapter Ekologi Umum, Book Chapter Fitohormon, Book Chapter Budidaya Tanaman Pangan dan Hortikultura, Book Chapter Konservasi Sumberdaya Lahan dan Lingkungan, Book Chapter Klimatologi, Book Chapter Ilmu Agronomi, Book Chapter Genetika, Book Chapter Meteorologi dan Klimatologi, Book Chapter Agronomi dan Konservasi Tanah, Book Chapter Dasar-dasar Fisiologi Tumbuhan, dan Buku Ajar Metode Penelitian Kualitatif dan Kuantitatif. Buku Teknologi Pasca Panen Tanaman Pangan, Book Chapter Teknik Kultur Jaringan pada Tanaman Hortikultura, dan Book Chapter Dasar-dasar Pemuliaan Tanaman yang diterbitkan oleh Penerbit Azzia. Buku Teknik Budidaya Jagung IP400 diterbitkan oleh Penerbit Deepublish. Buku Dasar-dasar Pemuliaan Tanaman, Buku Pengelolaan Agroekosistem, Buku Pemuliaan Tanaman untuk Ketahanan Pangan, dan Buku Dasar-dasar Produksi Tanaman Hortikultura diterbitkan oleh Penerbit Yayasan Kita Menulis. Buku Referensi Statistika diterbitkan oleh Dikti

Press. Buku Ilmu Tanaman diterbitkan oleh Minang Media Press.