

KONSERVASI TANAH DAN AIR

Penulis:

- Andi Masnang
- Amrullah Mansida
- Lusla Sulo Marimpan
- Henly Yulina
- Rahmawati Ning Utami
- Suhardi
- Muh. Ansar
- Yofris Puay
- Yunus Arifien
- Asri Mulya Ashari



KONSERVASI TANAH DAN AIR

**Andi Masnang
Amrullah Mansida
Lusia Sulo Marimpan
Henly Yulina
Rahmawati Ning Utami
Suhardi
Muh. Ansar
Yofris Puay
Yunus Arifien
Asri Mulya Ashari**



GET PRESS INDONESIA

KONSERVASI TANAH DAN AIR

Penulis : Andi Masnang
Amrullah Mansida
Lusia Sulo Marimpan
Henly Yulina
Rahmawati Ning Utami
Suhardi
Muh. Ansar
Yofris Puay
Yunus Arifien
Asri Mulya Ashari

ISBN : 978-623-125-457-3

Editor : Mila Sari, M.Si.

Desain Sampul dan Tata Letak : Atyka Trianisa, S.Pd.

Penerbit: GET PRESS INDONESIA
Anggota IKAPI No. 033/SBA/2022

Redaksi:

Jl. Palarik RT 01 RW 06, Kelurahan Air Pacah
Kecamatan Koto Tengah, Padang, Sumatera Barat
website: www.getpress.co.id
email: adm.getpress@gmail.com

Cetakan pertama, Oktober 2024

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulisan buku yang berjudul "KONSERVASI TANAH DAN AIR" ini dapat diselesaikan dengan baik. Buku ini hadir sebagai upaya untuk memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai pentingnya konservasi tanah dan air, terutama dalam rangka menjaga keberlanjutan ekosistem dan mendukung praktik-praktik pengelolaan sumber daya alam yang berkelanjutan.

Buku ini disusun untuk memenuhi kebutuhan akademis maupun praktis dalam bidang konservasi tanah dan air. Materi yang disajikan dalam buku ini diharapkan dapat memberikan gambaran yang mendalam terkait berbagai aspek yang berkaitan dengan upaya konservasi, termasuk prinsip-prinsip dasar, teknologi yang digunakan, serta tantangan dan strategi yang dapat diterapkan untuk mengatasi degradasi lahan akibat erosi dan faktor lainnya. Dengan demikian, buku ini tidak hanya relevan bagi akademisi, tetapi juga bagi praktisi di lapangan yang terlibat langsung dalam kegiatan pertanian dan pengelolaan sumber daya alam.

Ucapan terima kasih yang tulus penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan, baik berupa materi, bimbingan, maupun motivasi, sehingga buku ini dapat terselesaikan. Semoga buku ini dapat memberikan manfaat yang besar bagi para pembaca dalam memahami dan menerapkan praktik-praktik konservasi tanah dan air yang baik dan benar.

Padang, September 2024

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL.....	vi
BAB 1 LATAR BELAKANG KONSERVASI TANAH DAN AIR	1
1.1 Pendahuluan	1
1.2 Konsep dan Prinsip Konservasi Tanah dan Air.....	4
1.3 Tujuan Konservasi Tanah dan Air	5
1.4 Partisipasi Masyarakat dalam Konservasi Tanah dan Air	12
DAFTAR PUSTAKA.....	13
BAB 2 PRINSIP KONSERVASI TANAH DAN AIR.....	15
2.1 Pengertian Konvervasi dan Permasalahan DAS	15
2.2 Faktor-faktor Degradasi DAS.....	16
2.3 Teknologi Konservasi Tanah dan Air	18
2.4 Prinsip Konservasi tanah dan Air	21
2.5 Metode Konservasi tanah dan Air	24
2.6 Prinsip-prinsip Metode Mekanik.....	34
2.7 Prinsip-prinsip Metode Kimia.....	35
DAFTAR PUSTAKA.....	37
BAB 3 DEGRADASI DAN PENYEBAB DEGRADASI.....	39
3.1 Pendahuluan	39
3.2 Kerangka Pikir Pengukuran Tutupan Lahan dan Degradasi Hutan.....	40
3.3 Penutup	82

DAFTAR PUSTAKA.....	83
BAB 4 EROSI DAN PROSES EROSI TANAH	91
4.1 Pendahuluan.....	91
4.2 Pengertian Erosi.....	91
4.3 Proses Erosi Tanah	103
DAFTAR PUSTAKA.....	106
BAB 5 FAKTOR PENYEBAB EROSI TANAH	113
5.1 Faktor Alamiah	113
5.2 Faktor Manusia.....	120
5.3 Dampak Erosi Tanah	123
5.4 Strategi Konservasi	124
DAFTAR PUSTAKA.....	127
BAB 6 ALIRAN PERMUKAAN	129
6.1 Pendahuluan.....	129
6.2 Proses Aliran Permukaan.....	129
6.3 Dampak Aliran Permukaan	131
6.4 Faktor Aliran Permukaan.....	131
6.5 Penentuan Besar Aliran Permukaan.....	132
6.6 Pengendalian Aliran Permukaan.....	140
DAFTAR PUSTAKA.....	143
BAB 7 METODE PREDIKSI EROSI	147
7.1 Pendahuluan.....	147
7.2 Metode Prediksi Erosi	149
7.3 Evaluasi Metode Prediksi Erosi	186
7.4 Aplikasi Metode Prediksi Erosi.....	192
7.5 Peran Teknologi dalam Pengembangan Metode Prediksi Erosi	206
7.6 Masa Depan Metode Prediksi Erosi	219

7.7 Kesimpulan.....	237
DAFTAR PUSTAKA.....	247
BAB 8 CARA-CARA EVALUASI EROSI TANAH PADA SKALA MAKRO, MESO, DAN MIKRO.....	249
8.1 Pendahuluan	249
8.2 Pengaruh Skala Pengukuran Hasil Evaluasi Erosi Tanah.....	252
8.3 Faktor-Faktor dan Cara Perhitungan Erosi	254
8.4 Evaluasi Erosi Tanah pada Skala Makro	261
8.5 Evaluasi Erosi Tanah pada Skala Meso.....	265
8.6 Evaluasi Erosi Tanah pada Skala Mikro	269
DAFTAR PUSTAKA.....	278
BAB 9 METODE PENGENDALIAN EROSI TANAH.....	283
9.1 Pendahuluan	283
9.2 Pencegahan Erosi Tanah dan Air	285
9.3 Peran masyarakat dalam Konservasi Tanah	299
9.4 Penutup	304
DAFTAR PUSTAKA.....	305
BAB 10 USAHA TANI KONSERVASI DI MASA DEPAN	307
10.1 Pendahuluan.....	307
10.2 Pertanian Regeneratif.....	308
10.2 Sistem Pertanian Cerdas Iklim	310
10.3 Sistem Pertanian Organik	314
DAFTAR PUSTAKA.....	319
BIODATA PENULIS.....	321

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. (a) Pengolahan tanah dan (b) Sketsa penanaman menurut kontur.....	28
Gambar 2. 2. Denah tipe penanaman dalam strip/larikan	29
Gambar 2. 3. Sketsa penanaman dalam strip menurut garis kontur (contour strip cropping). 30	
Gambar 2. 4. Sketsa penanaman dalam strip lapangan (field strip cropping)	30
Gambar 2. 5. Sketsa dalam strip penyangga (buffer strip cropping).....	31
Gambar 2. 6. (a) Persiapan pembuatan strip pada lahan berlereng dan (b) Sketsa penerapan strip pada lahan berlereng 33	
Gambar 4. 1. Proses Terjadinya Erosi	104
Gambar 6. 1. Skema Proses Aliran Permukaan	130
Gambar 6. 2. Skema Pengukuran Langsung Aliran Permukaan	133
Gambar 6. 3. Hubungan Curah Hujan dan Aliran Permukaan	134
Gambar 6. 4. Skema Metode Infiltrasi	134
Gambar 6. 5. Aliran permukaan pada hidrigraf satuan.....	139
Gambar 6. 6. Lubang penampungan air yang berfungsi untuk menahan Aliran permukaan dan sedimentasi	142
Gambar 8. 1. Erosi di dunia pada tahun 2012	262
Gambar 8. 2. Tongkat erosi berbahan stainless	271
Gambar 8. 3. Plot Pengamatan Erosi	275
Gambar 10. 1. Sistem agroforestri.....	308
Gambar 10. 2. Sistem irigasi tetes sebagai implementasi pertanian cerdas iklim.....	312
Gambar 10. 3. Sistem pertanian organik yang terintegrasi dengan budidaya ikan air tawar	316

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Kelas tutupan operasional berdasarkan kerusakan hutan	44
Tabel 3. 2. Matriks perubahan tutupan lahan pada hutan produksi tahun 2002-2022	51
Tabel 3. 3. Matriks perubahan tutupan lahan pada hutan lindung tahun 2002-2022	54
Tabel 3. 4. Matriks perubahan tutupan lahan pada hutan konservasi tahun 2002-2022	57
Tabel 3. 5. Luasan jenis-jenis kerusakan hutan (antropogenik) pada hutan produksi, hutan lindung dan hutan konservasi tahun 2022	63
Tabel 8. 1. Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi	259
Tabel 8. 2. Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi	270

BAB 1

LATAR BELAKANG KONSERVASI TANAH DAN AIR

Oleh Andi Masnang

1.1 Pendahuluan

Tanah merupakan sumber daya hayati yang dinamis dan penting bagi produksi pangan dan serat yang berkelanjutan serta pemeliharaan siklus biogeokimia global dan fungsi ekosistem. Namun, banyak lahan pertanian yang mengalami degradasi parah. Erosi tanah, yang sering disebabkan oleh limpasan permukaan yang berlebihan, merupakan penyebab utama degradasi ini karena hilangnya lapisan atas tanah beserta bahan organik dan nutrisi lain yang terkandung di dalamnya (Spinelli et al., 2019). Lahan pertanian di seluruh dunia mengalami tingkat erosi yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan lahan lainnya (Blandon et al., 2019). Contoh terkenal dari erosi yang menyebar dan terus-menerus termasuk Dust Bowl yang terbentuk di Great Plains Amerika Serikat pada tahun 1930an dan menyebabkan kerusakan ekologis dan kerugian ekonomi yang luas, pembentukan selokan berskala besar di wilayah Piedmont di Amerika Serikat. Amerika bagian tenggara yang menghancurkan kemampuan lahan tersebut untuk mendukung produksi tanaman, dan hilangnya tanah secara luas di dataran tinggi Loess di Tiongkok yang saat ini menyumbang sekitar 90% sedimen ke Sungai Kuning. Daerah

lain di Tiongkok juga mengalami erosi yang meluas, termasuk wilayah tanah hitam di timur laut dan wilayah tanah merah di selatan negara tersebut. Ringkasnya, erosi tanah dapat menyebabkan kerugian ekonomi langsung, penurunan hasil panen, dan peningkatan biaya produksi tanaman, yang dalam beberapa kasus menyebabkan ditinggalkannya lahan pertanian (Du et al., 2022).

Praktik pertanian konservasi telah dikembangkan untuk mengurangi degradasi tanah dan meningkatkan produktivitas lahan pertanian. Praktik-praktik yang relevan mencakup agroforestri (AF), pengurangan pengolahan tanah, tanpa pengolahan tanah, penanaman penutup tanah, dan pengembalian residu. Praktik-praktik tersebut dirancang untuk memberikan manfaat bagi tanah, air, dan agroekosistem, terutama dengan mengurangi gangguan tanah, meningkatkan tutupan permukaan tanaman dan residunya, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan memaksimalkan keberadaan dan luasnya akar hidup. Banyak eksperimen lapangan telah mengevaluasi bagaimana praktik konservasi ini memengaruhi limpasan permukaan dan erosi tanah. Misalnya, kehadiran batang pohon dalam sistem AF dapat mengurangi kecepatan limpasan dan dengan demikian menurunkan daya dukung sedimen, sedangkan peningkatan sampah permukaan yang terkait dengan tanaman tahunan dapat membantu mengurangi percikan dan pengelupasan tanah. Penggunaan tanaman penutup tanah selama musim bera dapat meningkatkan tutupan permukaan tanah, menambah kekasaran permukaan, meningkatkan waktu retensi curah hujan, dan meningkatkan kedalaman penetrasi akar tanaman, yang semuanya dapat membentuk umpan balik positif untuk mengendalikan kelebihan limpasan permukaan dan erosi (M. P. da Luz et al., 2021) (F. B. da Luz et al., 2023). Mengurangi atau menghindari pembajakan

dalam praktik pengurangan dan tanpa pengolahan tanah dapat melindungi tanah dengan melestarikan bahan organik tanah, yang dapat membantu mengikat partikel tanah dan mencegah pengendapan dan disagregasi (Dor et al., 2022) .

Pengembalian residu, yaitu residu yang masih berdiri atau terpotong tertinggal di permukaan tanah, memberikan tutupan dan kekasaran permukaan yang lebih baik, sehingga mengurangi potensi erosi air permukaan (Masnang et al., 2022) . Pada saat yang sama, praktik ini dapat mendukung pertumbuhan tanaman dan, dengan bertindak sebagai sumber utama bahan organik tanah, mempengaruhi berbagai sifat fisik, kimia, dan biologi tanah.

Praktik pertanian dan pengelolaan memainkan peran penting dalam mengendalikan erosi tanah. Misalnya, tingkat kehilangan tanah menurun secara eksponensial seiring dengan meningkatnya tutupan vegetasi. Selain tutupan vegetasi, beberapa faktor penggunaan dan pengelolaan lahan lainnya juga mempengaruhi hilangnya tanah, seperti jenis tanaman, cara pengolahan tanah, dan lain-lain. Pengaruh penggunaan dan pengelolaan lahan sering kali diukur dalam faktor pengelolaan tutupan lahan (faktor C). Faktor C adalah salah satu dari lima faktor yang digunakan untuk memperkirakan risiko erosi tanah dalam Persamaan Kehilangan Tanah Universal (USLE) dan versi revisinya, RUSLE. Faktor C mungkin merupakan faktor yang paling penting dalam kaitannya dengan kebijakan dan keputusan penggunaan lahan, karena faktor ini mewakili kondisi yang paling mudah dikelola untuk mengurangi erosi.

1.2 Konsep dan Prinsip Konservasi Tanah dan Air

Konservasi tanah dan air adalah upaya untuk menjaga dan meningkatkan kualitas tanah serta kuantitas dan kualitas air. Tujuan utama dari konservasi ini adalah untuk mencegah terjadinya degradasi tanah dan air, serta menjaga keberlanjutan ekosistem.

1.2.1 Konsep Dasar Konservasi Tanah dan Air

Pengelolaan lahan berkelanjutan yang mengelola lahan dengan cara yang bijaksana sehingga dapat menghasilkan produktivitas yang optimal tanpa merusak lingkungan. Pelestarian sumber daya alam yang melindungi dan melestarikan sumber daya alam seperti tanah, air, dan vegetasi. Pencegahan erosi dapat mencegah terjadinya pengikisan tanah oleh air atau angin. Peningkatan infiltrasi meningkatkan kemampuan tanah dalam menyerap air hujan. Pengendalian banjir mengurangi dampak banjir dengan cara memperlambat aliran air permukaan dapat menjaga kualitas air agar tetap bersih dan layak digunakan.

1.2.2 Prinsip-Prinsip Konservasi Tanah dan Air

1. Memahami Karakteristik Lahan: Setiap lahan memiliki karakteristik yang berbeda-beda, seperti jenis tanah, topografi, dan iklim. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemetaan dan analisis terhadap karakteristik lahan sebelum menerapkan teknik konservasi.
2. Menerapkan Teknik Konservasi yang Tepat: Pemilihan teknik konservasi harus disesuaikan dengan kondisi lahan dan tujuan yang ingin dicapai. Beberapa teknik konservasi yang umum digunakan antara lain: Metode Vegetatif: Penanaman tanaman penutup tanah, strip cropping, agroforestri, dan lain-lain. Metode Mekanik:

Pembuatan teras, guludan, cekdam, dan parit. Metode Kimia: Penggunaan bahan pengikat tanah.

3. Peningkatan Kesadaran Masyarakat: Masyarakat perlu diberikan pemahaman tentang pentingnya konservasi tanah dan air serta dilibatkan dalam perencanaan dan pelaksanaan program konservasi.
4. Penguatan Kelembagaan: Dibutuhkan kelembagaan yang kuat untuk mendukung pelaksanaan program konservasi, seperti kelompok tani, pemerintah desa, dan lembaga swadaya masyarakat.
5. Pemantauan dan Evaluasi: Melakukan pemantauan dan evaluasi secara berkala untuk mengetahui efektivitas program konservasi dan melakukan perbaikan jika diperlukan.

1.3 Tujuan Konservasi Tanah dan Air

- Meningkatkan Produktivitas Lahan: Dengan menjaga kesuburan tanah, produktivitas lahan pertanian dapat ditingkatkan.
- Mencegah Bencana Alam: Konservasi tanah dan air dapat mengurangi risiko terjadinya bencana alam seperti banjir dan longsor.
- Melindungi Sumber Daya Air: Melindungi kualitas dan kuantitas air untuk memenuhi kebutuhan manusia dan ekosistem.
- Melestarikan Keanekaragaman Hayati: Melindungi habitat bagi berbagai jenis flora dan fauna.
- Mitigasi Perubahan Iklim: Konservasi tanah dan air dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan meningkatkan penyerapan karbon.

Dalam menerapkan prinsip-prinsip konservasi tanah dan air, perlu diingat bahwa setiap wilayah memiliki kondisi yang unik. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang bersifat partisipatif dan adaptif untuk mencapai hasil yang optimal. Teknik spesifik lokasi untuk memulihkan kualitas tanah

mencakup pertanian konservasi, pengelolaan unsur hara terpadu, tutupan vegetasi berkelanjutan seperti mulsa sisa dan tanaman penutup tanah, serta penggembalaan terkendali dengan jumlah tebar yang sesuai. Strateginya adalah menghasilkan “lebih banyak dari lebih sedikit” dengan mengurangi kehilangan dan meningkatkan efisiensi penggunaan tanah, air, dan unsur hara. Pemilihan teknik konservasi tanah dan air sangat bergantung pada kondisi spesifik suatu lokasi, seperti:

- Kemiringan lereng, bentuk lahan, dan panjang lereng.
- Iklim: Curah hujan, suhu, dan angin.
- Jenis tanah: Tekstur, struktur, dan kedalaman tanah.
- Vegetasi: Jenis tanaman yang tumbuh di area tersebut.
- Penggunaan lahan: Pertanian, perkebunan, atau permukiman.

Beberapa teknik yang umum digunakan, disesuaikan dengan kondisi lokasi. Pemilihan teknik konservasi tanah dan air yang tepat harus mempertimbangkan beberapa faktor, antara lain: tujuan konservasi, kondisi lahan, sumber daya yang tersedia, kebiasaan dan pengetahuan petani. Setelah teknik konservasi diterapkan, perlu dilakukan pemeliharaan secara berkala untuk memastikan keberlanjutannya. Teknik konservasi tanah dan air yang tepat dapat membantu menjaga kelestarian lingkungan, meningkatkan produktivitas lahan, dan mengurangi dampak bencana alam seperti banjir dan longsor. Pemilihan teknik yang sesuai dengan kondisi spesifik lokasi sangat penting untuk mencapai hasil yang optimal.

Tuntutan demografis yang terus meningkat, tekanan populasi dan ancaman perubahan lingkungan global (termasuk iklim) yang terus berkembang menunjukkan bahwa sistem pertanian dunia akan memerlukan produksi pangan yang lebih

banyak dalam kondisi lingkungan tertentu tanpa membahayakan sumber daya alam untuk generasi mendatang sambil tetap menjaga kelestarian sumber daya alam. kelestarian ekosistem. Salah satu aspek yang penting adalah kemampuan untuk melestarikan karbon organik tanah, mempertahankan sifat fisik, kimia dan biologi tanah dan akibatnya kesuburan tanah dan hasil panen. Oleh karena itu, pertanian konservasi adalah metode produksi tanaman pertanian yang menghemat sumber daya yang melibatkan tiga konsep dasar yaitu. gangguan minimal terhadap permukaan tanah dengan penutup permanen dan rotasi tanaman yang masuk akal untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi melalui peningkatan proses alami dan biologis di atas dan di bawah tanah. Inovasi-inovasi ini memberikan peluang untuk meminimalkan biaya produksi; menghemat air dan nutrisi; meningkatkan hasil; memberikan insentif untuk diversifikasi tanaman; meningkatkan produktivitas sumber daya dengan meningkatkan tingkat kesuburan tanah. Pada bab ini, kita akan membahas aspek-aspek penting praktik pertanian konservasi dalam kaitannya dengan kesuburan tanah akibat modifikasi lingkungan fisik, kimia, dan biologi tanah secara berkelanjutan.(Daniel et al., 2018).

Sumber daya alam terus berkurang karena operasi pertanian yang intensif, rendahnya pengembalian bahan organik (OM) ke dalam tanah, dan sistem pertanian tunggal yang terus menerus. Seiring dengan penipisan OM, erosi dan salinisasi tanah beberapa kali memperburuk masalah penipisan sumber daya. Untuk mencapai ketahanan pangan dan pengentasan kelaparan dan kemiskinan, diperlukan teknologi produksi pertanian berkelanjutan yang mampu melestarikan sumber daya alam dan mampu mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan. Dalam keadaan seperti ini, pertanian konservasi (CA) telah menjadi teknologi produksi yang menjanjikan yang

terdiri dari gangguan tanah minimal, pemeliharaan tutupan tanah secara permanen melalui tanaman penutup tanah dan/atau sisa tanaman, dan diversifikasi tanaman untuk mencapai produktivitas tanaman yang lebih tinggi dan kemudian menurun. dampak buruk terhadap lingkungan. Ini juga disebut sebagai pertanian yang efisien sumber daya atau hemat sumber daya. Tujuan akhir CA adalah untuk mencapai keuntungan yang memuaskan dan produksi tanaman yang lebih besar dan berkelanjutan, dan pada saat yang sama, melestarikan lingkungan. Tujuan utama CA adalah untuk mengurangi dampak buruk dari pertanian tradisional dan pembakaran atau pembuangan sisa tanaman. Saat ini, CA diikuti pada sekitar 157 juta hektar lahan subur di seluruh dunia. CA dapat secara efektif melestarikan dan menggunakan sumber daya alam karena melibatkan pengelolaan terpadu atas tanah, air yang tersedia, dan sumber daya hayati serta penggunaan masukan eksternal secara yudisial. Di CA, praktik agronomi yang baik seperti pengoperasian pertanian yang tepat waktu, penggunaan benih berkualitas, dan pengelolaan gulma, unsur hara, hama, serta air secara terpadu diikuti. Hasil panen pada sistem CA setara dengan sistem konvensional. Residu yang tertahan di permukaan tanah membantu meningkatkan kualitas tanah, kesehatan tanaman, dan efisiensi penggunaan sumber daya secara keseluruhan. Praktik CA dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan unsur hara dengan meningkatkan keseimbangan dan ketersediaan unsur hara, infiltrasi, dan retensi air di dalam tanah; dengan mengurangi kerugian penguapan; dan dengan meningkatkan kualitas dan ketersediaan air permukaan dan bawah permukaan. Karena pragmatisme CA di berbagai belahan dunia dipengaruhi oleh tantangan biofisik dan sosio-ekonomi, adaptasi CA harus disesuaikan dengan lokasi dan kondisi petani. Karena CA memerlukan pemahaman dan pengetahuan yang lebih baik,

meyakinkan petani melalui bukti adalah tugas paling penting dalam memotivasi petani untuk mengadopsi CA. Dalam bab ini, upaya telah dilakukan untuk menjelaskan bagaimana CA dapat memodifikasi dan memperbaiki lingkungan fisik tanah. Improved soil environment under conservation agriculture (Ramteke et al., 2023).

Meningkatnya jumlah penduduk dan berkurangnya lahan pertanian merupakan tantangan besar bagi pertanian modern. Produksi pertanian harus diimbangi dengan jumlah penduduk yang terus meningkat untuk memenuhi kebutuhan pasokan pangan. Perubahan ini menyebabkan intensifikasi pertanian yang mengakibatkan konversi kawasan vegetasi alami menjadi lahan pertanian. Eksploitasi sumber daya lahan secara berlebihan yang terus-menerus dan dikombinasikan dengan faktor iklim mengakibatkan hilangnya lapisan atas tanah yang subur. Dalam skala global, periode perubahan penggunaan lahan yang paling awal terjadi bertepatan dengan gelombang pertama erosi tanah. Daerah yang terkena campur tangan manusia mempunyai tingkat erosi tanah yang tinggi yaitu 2,92 tha⁻¹ tahun⁻¹. Untuk mencapai keseimbangan antara hasil pertanian dan konservasi, pengendalian erosi tanah menjadi komponen yang sangat penting. Pengendalian dan pencegahan erosi tanah memerlukan pengembangan sistem pengendalian erosi tanah secara terpadu dengan memadukan metode-metode yang berbasis pada rekayasa, teknologi budidaya pertanian, penegakan hukum, metode biologi, perencanaan dan pengelolaan lahan. Struktur konservasi tanah dan model kehilangan tanah yang canggih akan menjadi prasyarat dalam pengelolaan lahan. Bab ini membahas dinamika erosi dan keberlanjutan pertanian melalui berbagai strategi pengelolaan tanah, yang juga menimbulkan tantangan serupa dengan tantangan kuantifikasi perubahan iklim atau sistem pertanian di

masa depan. Bab ini difokuskan pada analisis dan penghitungan dampak perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan tanah yang tererosi di bidang pertanian.

Konservasi sumber daya tanah dan air di dunia sangat penting untuk mempertahankan produksi pangan dan serat bagi populasi manusia yang terus meningkat dan untuk melestarikan lingkungan. Praktek-praktek pada lahan lain yang mempengaruhi konservasi tanah dan air pada lahan pertanian akan dibahas jika diperlukan. Praktik-praktik yang mengurangi limpasan dan, karenanya, mengurangi transportasi sedimen dan meningkatkan konservasi air mencakup pengolahan tanah konservasi, mulsa, tanaman penutup tanah, dan bahan tambahan kimia. Namun, penyimpanan air dalam tanah dalam jangka waktu lama seperti masa bera antar tanaman mungkin sama atau bahkan lebih besar dengan pengolahan tanah konservasi dibandingkan dengan pembuatan kontur atau pembuatan alur. Tujuan pembuatan alur alur adalah untuk menangkap dan menahan curah hujan hingga meresap ke dalam tanah; beberapa mungkin hilang karena penguapan. Pengolahan tanah kontur dan pembuatan alur hanya melibatkan sedikit manipulasi permukaan tanah dan dapat diterapkan pada lahan dengan kemiringan yang relatif kecil. *Common Soil and Water Conservation Practices* (Leta & Megersa, 2021)

Meskipun hasil panen meningkat, penggunaan pupuk kimia secara sembarangan dalam pertanian konvensional merusak kesehatan tanah, menurunkan produktivitas tanaman, dan berdampak negatif terhadap keberlanjutan pertanian. Oleh karena itu, memulihkan kesehatan tanah dan lingkungan sangatlah penting. Produktivitas tanaman yang lebih tinggi dapat dicapai dengan pupuk alami seperti pupuk hayati, kascing, pupuk hijau, pupuk kandang, dan sisa tanaman, yang merupakan pendekatan berkelanjutan untuk menyuburkan tanah dan

lingkungan. Bab ini membahas pentingnya kesehatan tanah, bagaimana hal tersebut dapat dipengaruhi oleh input dan praktik pertanian, serta strategi untuk meningkatkan kesehatan tanah. Perspective Chapter: Conservation and Enhancement of Soil Health for Sustainable Agriculture (Ramteke et al., 2023)

Sistem Agroforestri (AFS), atau asosiasi pohon dengan tanaman (atau hewan), adalah strategi pengelolaan dan penggunaan lahan yang memungkinkan produksi dalam pembangunan berkelanjutan: (a) ramah lingkungan (produksi yang harmonis secara lingkungan); (b) secara teknis (mengintegrasikan sumber daya yang ada di lahan pertanian); (c) secara ekonomi (peningkatan produksi), dan (d) secara sosial (kesetaraan tugas dan kesempatan, kualitas hidup kelompok keluarga). Sebagai integrasi yang disengaja antara pepohonan atau semak dengan produksi tanaman dan hewan, praktik ini memberikan manfaat lingkungan, ekonomi, dan sosial bagi petani. Mengingat terdapat serangkaian definisi, dan bukan definisi tunggal mengenai Agroforestri (AF) dan AFS, maka wajar jika kita mengeksplorasi sejarah evolusi dan kriteria yang paling sedikit untuk mendefinisikan keduanya dan menerapkannya dalam pemulihan kawasan terdegradasi. Mengetahui cara mengklasifikasikan AFS memungkinkan kita untuk menunjukkan jenis atau kelompok AFS mana yang cocok untuk suatu area tertentu dengan karakteristiknya. Manfaat terbesar yang dapat diberikan AFS pada kawasan terdegradasi atau lereng terletak pada kemampuannya menggabungkan konservasi tanah dengan fungsi produktif. Dengan kata lain, AF menghentikan pertanian dan produksi hewan untuk mendapatkan lebih banyak manfaat termasuk adaptasi dan mitigasi perubahan iklim melalui jasa ekosistem. (O. Russo, 2023)

1.4 Partisipasi Masyarakat dalam Konservasi Tanah dan Air

Partisipasi masyarakat merupakan kunci keberhasilan dalam upaya konservasi tanah dan air. Keterlibatan aktif masyarakat dalam menjaga kelestarian lingkungan hidup, khususnya tanah dan air, memiliki peran yang sangat krusial dalam konservasi tanah dan air. Masyarakat lokal memiliki pengetahuan mendalam tentang kondisi lingkungan, termasuk tanah, air, dan ekosistem setempat. Pengetahuan ini sangat berharga dalam merancang dan menerapkan strategi konservasi yang efektif berbasis kondisi lokal (Dwi Prasetyo, 2016).

Masyarakat lokal mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan yang cepat dan mengembangkan praktik-praktik konservasi yang berkelanjutan. Tanah dan air seringkali memiliki nilai budaya dan spiritual yang tinggi bagi masyarakat. Keterikatan emosional ini mendorong masyarakat untuk lebih peduli dan bertanggung jawab dalam menjaga kelestariannya. Masyarakat ingin meninggalkan warisan lingkungan yang baik bagi generasi mendatang, sehingga mereka termotivasi untuk terlibat dalam upaya konservasi. Masyarakat dapat terlibat langsung dalam pelaksanaan kegiatan konservasi, seperti penanaman pohon, pembuatan terasering, atau pengelolaan sampah. Keterlibatan masyarakat dalam pengambilan keputusan dan pembagian manfaat, upaya konservasi akan lebih adil dan berkelanjutan. Partisipasi masyarakat dapat memperkuat kelembagaan masyarakat lokal dalam mengelola sumber daya alam. Partisipasi masyarakat dapat meningkatkan dukungan sosial terhadap program konservasi, sehingga program tersebut lebih mudah dilaksanakan dan berkelanjutan (Djauhari & Syam, 2016).

DAFTAR PUSTAKA

- Blandon, B. A. R., Álvarez, E. H., Pérez, E. S., Macías, R. R., Rodríguez, A. G., Velarde, E. V., & Hernández, R. S. (2019). Carbon storage and lignocellulosic characterization of commercial plantations of *Tectona grandis* L.f. In Mexico. *Colombia Forestal*, 22(2). <https://doi.org/10.14483/2256201X.13874>
- da Luz, F. B., Gonzaga, L. C., Castioni, G. A. F., de Lima, R. P., Carvalho, J. L. N., & Cherubin, M. R. (2023). Controlled traffic farming maintains soil physical functionality in sugarcane fields. *Geoderma*, 432. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.116427>
- da Luz, M. P., Ardila, M. A. A., Junior, R. D. D. S., Valentin, C. A., Schlieuwe, M. S., Coelho, A. T., & da Silva, J. L. (2021). Geomats used to control erosion on reservoir margins in brazilian hydroelectric power plants. *Water (Switzerland)*, 13(11). <https://doi.org/10.3390/w13111444>
- Daniel, T. C., Kemper, W. D., & Lemunyon, J. L. (2018). Soil and Water Conservation: Soil Science in the Next Half-Century. In *Advances in Soil and Water Conservation*. <https://doi.org/10.1201/9781315136912-10>
- Djauhari, A., & Syam, A. (2016). Sistem Pengelolaan Lahan Kering di Daerah Aliran Sungai Brantas Bagian Hulu. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 14(1). <https://doi.org/10.21082/fae.v14n1.1996.24-40>
- Dor, M., Assa, I., & Mishael, Y. G. (2022). The Dynamic Effect of Root Exudates on Soil Structure Aggregate Stability and Packing. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4282919>

- Du, X., Jian, J., Du, C., & Stewart, R. D. (2022). Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(2). <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2021.08.001>
- Dwi Prasetyo, B. (2016). AGROFORESTRI KALIWU DI SUMBA: SEBUAH TINJAUAN SOSIOLOGIS. *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, 13(3). <https://doi.org/10.20886/jsek.2016.13.3.189-199>
- Leta, A., & Megersa, T. (2021). Factors Influencing Soil Erosion Management Practices in Ejersa Lafo District, West Showa Zone, Oromia, Regional State, Ethiopia. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 25(1). <https://doi.org/10.4314/jasem.v25i1.11>
- Masnang, A., Jannah, A., Andriyanty, R., & Haryati, U. (2022). The Effectiveness and Valuation of Using Silt Pit to Reduce Erosion and Nutrient Loss of Andosol. *JOURNAL OF TROPICAL SOILS*, 27(1), 27. <https://doi.org/10.5400/jts.2022.v27i1.27-35>
- O. Russo, R. (2023). *Agroforestry: An Approach for Sustainability and Climate Mitigation*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105406>
- Ramteke, P., Gabhane, V., Kadu, P., Kharche, V., & Ghosh, S. (2023). Perspective Chapter: Conservation and Enhancement of Soil Health for Sustainable Agriculture. In *Organic Fertilizers - New Advances and Applications [Working Title]*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1000869>
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Cavallo, E., Capello, G., & Biddoccu, M. (2019). Reducing soil compaction after thinning work in agroforestry plantations. *Agroforestry Systems*, 93(5). <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0279-6>

BAB 2

PRINSIP KONSERVASI TANAH DAN AIR

Oleh Amrullah Mansida

2.1 Pengertian Konversasi dan Permasalahan DAS

Konservasi adalah pelestarian atau perlindungan. Secara harfiah, konservasi berasal dari bahasa Inggris, *conservation* yang artinya pelestarian atau perlindungan. *Conservation* yang terdiri atas kata *con* (*together*) dan *servare* (*keep/save*) yang memiliki pengertian mengenai upaya memelihara apa yang kita punya (*keep/save what you have*), namun secara bijaksana (*wise use*).

Secara umum, konservasi adalah proses pengelolaan suatu tempat agar makna kultural yang dikandungnya terpelihara dengan baik. Definisi lain dari konservasi adalah pemeliharaan dan perlindungan terhadap sesuatu yang dilakukan secara teratur untuk mencegah kerusakan dan kemusnahan dengan cara pengawetan.

Daerah Aliran Sungai (DAS) berperan menjaga kualitas air, mencegah banjir dan kekeringan saat musim hujan dan kemarau, serta mengurangi aliran massa tanah dari hulu ke hilir. Penurunan fungsi DAS tidak terus terjadi, maka harus dilakukan upaya untuk menjaga dan melestarikan kondisi DAS. Salah satunya dengan cara konservasi DAS. Perlu pula diketahui bahwa perubahan tata guna lahan memberikan kontribusi dominan kepada aliran permukaan (*surface runoff*). Hujan yang

jatuh ke tanah airnya akan menjadi aliran permukaan di atas tanah dan sebagian meresap ke dalam tanah tergantung kondisi tanahnya.

Perubahan tata guna lahan merupakan penyebab utama banjir dibandingkan dengan yang lainnya. Sebagai contoh, apabila suatu hutan yang berada dalam suatu daerah aliran sungai diubah menjadi pemukiman, maka debit puncak sungai akan meningkat peningkatan debit puncak yang signifikan, antara 6 sampai 20 kali. Angka 6 dan angka 20 ini tergantung dari jenis hutan dan jenis pemukiman. Demikian pula untuk perubahan yang lainnya maka akan terjadi (Hilman *et al.*, 2007).

Penurunan fungsi DAS tidak boleh terus dibiarkan, mengingat fungsi DAS sangat berguna bagi kehidupan manusia atau masyarakat. DAS berperan penting dalam menjaga lingkungan dan menyediakan kebutuhan air bagi masyarakat.

2.2 Faktor-faktor Degradasi DAS

Degradasi luasan hutan yang berubah menjadi lahan pertanian serta pemukiman mengakibatkan laju erosi meningkat dan berpengaruh pada laju sedimentasi di sungai. Hal ini tentunya dapat menyebabkan sejumlah permasalahan di daerah hilir yang diakibatkan oleh timbulnya pengendapan sedimen. Salah satu dampak dari sedimentasi adalah berkurangnya kapasitas pengaliran sungai maupun kapasitas tampungan waduk. Selain permasalahan sedimentasi, adanya penggunaan lahan yang tidak sesuai kaidah konservasi juga dapat menyebabkan peningkatan intensitas terjadinya bencana (banjir, tanah longsor dan kekeringan). Hal ini telah menjadi permasalahan utama dalam pengelolaan DAS. Untuk itu diperlukan adanya penanganan secara intensif dan kontinyu.

Alih fungsi lahan yang tidak terkendali akan berdampak pada keseimbangan lingkungan termasuk proses-proses hidrologis di dalam wilayah DAS (Juwono and Subagiyo, 2017). Akibatnya, terjadi ketidakseimbangan neraca air, unsur hara, meningkatnya erosi dan sedimentasi, serta rusaknya habitat keanekaragaman hayati.

Erosi pada hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan kejadian alami akibat curah hujan yang mencapai permukaan tanah, dimana tidak semuanya terinfiltrasi ke dalam tanah. Sebagian menjadi limpasan permukaan yang dapat mengikis lapisan terluar tanah. Proses ini merupakan fenomena alam yang tidak dapat dihindari. Namun pada kondisi DAS yang alami, umumnya laju erosi yang terjadi masih kecil dan dapat tertahan oleh tanaman yang ada, sehingga masih seimbang dengan laju pembentukan tanahnya.

Seiring berjalannya waktu, fungsi Daerah Aliran Sungai (DAS) mulai menurun. Penurunan fungsi tersebut disebabkan oleh beberapa hal, antara lain kegiatan deforestasi, penebangan hutan secara liar, sistem pertanian yang tidak ramah lingkungan, dan sebagainya. DAS berperan penting dalam menjaga lingkungan dan menyediakan kebutuhan air bagi masyarakat. Aktivitas pemanfaatan sumber daya alam suatu hal yang krusial dilakukan untuk pemenuhan kebutuhan pokok dan juga kebutuhan ekonomi masyarakat.

Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), jumlah daerah aliran sungai (DAS) yang mengalami kondisi kritis terus meningkat. Pada tahun 1984 terdapat 22 DAS, kemudian meningkat menjadi 39 pada tahun 1992. Selanjutnya pada tahun 1998 sebanyak 62 DAS mengalami kritis dan tahun 2020 mencapai 108 DAS (Alfian, 2023). Khusus untuk tanah-tanah tropika basa terdapat

tiga proses penting yang menyebabkan terjadinya degradasi tanah, yaitu (Rayhani and Rahmadi, 2017) :

- 1) Degradasi fisik yang berhubungan dengan memburuknya struktur tanah sehingga memicu pergerakan, pemadatan, aliran banjir berlebihan, dipercepat,
- 2) Degradasi berhubungan kimia dan erosi yang dengan terganggunya siklus C, N, P, S dan unsur-unsur lainnya, dan
- 3) Degradasi biologi yang berhubungan dengan menurunnya kualitas dan kuantitas bahan organik tanah, aktivitas biotik dan keragaman spesies fauna tanah yang juga menurun ikut menurun.

2.3 Teknologi Konservasi Tanah dan Air

Sasaran utama kegiatan konservasi tanah dan air adalah mengendalikan erosi tanah (*soil erosion*) dan aliran permukaan (*surface runoff*). Untuk menentukan jenis dan bentuk teknologi konservasi tanah yang akan diterapkan di suatu wilayah, perlu mengetahui faktor faktor penyebabnya. Ada lima faktor penentu besarnya erosi yaitu: jumlah dan intensitas hujan (*erosivitas*), kepekaan tanah terhadap erosi (*erodibilitas*), konfigurasi atau bentukan lahan (kemiringan dan panjang lereng), bentuk vegetasi penutup tanah (*ground cover vegetation form*), dan pola pengelolaan tanah (*land management*). Kelima faktor tersebut digunakan membangun model prediksi erosi oleh Wischmeier dan Smith pada tahun 1978 yang dikenal sebagai model prediksi erosi USLE (*universal soil loss equation*) (Sallata, 2014).

Kegiatan konservasi tanah dan air adalah segala tindakan yang diperlukan untuk mengelola ketiga faktor penyebab erosi yang dapat dikendalikan dengan tujuan melestarikan sumberdaya tanah dan air. Sehubungan dengan hal tersebut diatas maka didalam menerapkan ilmu konservasi tanah dan air

perlu memahami 3 (tiga) paradigma dasar yang menjadi pegangan atau prinsip yaitu: melindungi permukaan tanah dari pukulan butir-butir hujan secara langsung, meningkatkan infiltrasi untuk mengurangi aliran permukaan, dan mengurangi kecepatan aliran permukaan (Arsyad and Rustiadi, 2008) dan (Auliyani, 2020). Ketiga paradigma inilah yang menjadi prinsip dasar para peneliti mencari inovasi teknologi dan para praktisi menerapkan teknik konservasi tanah dan air yang dibutuhkan (Sallata, 2014).

Konservasi air adalah upaya atau tindakan konservasi terhadap air (tata air) yang pengaturan penggunaan atau pemanfaatannya berprinsip pada tercapainya keseimbangan tata air (Sarminah, 2018).

Usaha-usaha konservasi tanah ditujukan untuk:

- 1) Mencegah kerusakan tanah oleh erosi.
- 2) Memperbaiki tanah yang rusak.
- 3) Memelihara serta meningkatkan produktivitas tanah agar dapat dipergunakan secara lestari.
- 4) Menetapkan kelas kemampuan tanah dan tindakan tindakan atau perlakuan yang diperlukan agar tanah tersebut dapat dipergunakan seoptimal mungkin dalam jangka waktu yang tidak terbatas.

Terdapat tiga pendekatan dalam konservasi tanah bermanfaat untuk (Seta, 1987):

- 1) Memperbaiki dan menjaga keadaan tanah agar tahan terhadap penghancuran dan pengangkutan, serta lebih besar daya menyerap airnya.
- 2) Menutup tanah dengan tanaman atau sisa-sisa tumbuhan agar terlindung dari pukulan langsung air hujan yang jatuh.

- 3) Mengatur aliran permukaan sehingga mengalir dengan kekuatan yang tidak merusak.

Menurut Suripin (2002) bukunya menyebutkan bahwa pendekatan dasar dalam konservasi tanah dan air adalah:

- 1) Menyediakan penutup tanah dengan tanaman atau mulsa agar tanah terlindung dari pukulan hujan langsung.
- 2) Memperbaiki dan menjaga kondisi tanah agar tanah tahan terhadap penghancuran dan pengangkutan, serta meningkatkan kapasitas infiltrasi.
- 3) Mengatur aliran permukaan sedemikian rupa sehingga mengalir dengan energi yang tidak merusak, dengan cara (a) mengurangi aliran permukaan (b) menahan aliran permukaan, dan (c) mengendalikan aliran permukaan.
- 4) Meningkatkan efisiensi penggunaan air.
- 5) Menjaga kualitas air.
- 6) Mendaur ulang air.

Beberapa peranan konservasi tanah dan air adalah:

- 1) Penyelamatan lahan kritis.
- 2) Menjaga/menjamin kesuburan tanah.
- 3) Pengendalian erosi dan sedimentasi.
- 4) Pengendalian banjir (menjaga keseimbangan tata air).
- 5) Pengendalian pencemaran air sesuai dengan standar baku mutu lingkungan.

Pertama dengan melakukan reboisasi DAS secara massal, untuk area permukiman, perkotaan, hutan yang gundul, dan harus dilakukan secara merata di seluruh Daerah Aliran Sungai, dengan pengambilan skala tekanan penduduk dan kebutuhan lahan. Cara kedua dengan mempertinggi retensi sungai sendiri terhadap banjir. Maksudnya adalah bagaimana banjir itu bisa di sebar sepanjang sungai dari hulu sampai hilir sehingga yang

terjadi bukan banjir besar di suatu titik tertentu. Konsep meninggikan daerah retensi sepanjang alur sungai ini ialah menghindari metode penanggulangan banjir dengan pembuatan tanggul, sudetan, pelurusan, dan pengerasan tebing karena cara-cara ini justru kemampuan alur sungai untuk menahan air banjir di sepanjang alur. Cara ini justru menyebabkan banjir di suatu tempat tertentu, terutama di bagian hilir karena air menjadi semakin cepat ke hilir. Retensi dapat dilakukan dengan mengembangkan daerah-daerah sepanjang alur sungai untuk paerkir air sebelum mengalir kehilir (Polder alamiah pemanmpungan sementara banjir). Cara ketiga dengan meningkatkan jumlah kolam retensi di berbagai kawasan, baik di area perkebunan, pertanian, permukiman, perkantoran , perkotaan, dan pedesaan. Kolam ini dapat mencecah banjir secara signifikan di wilayah hilir jika di budidayakan. Cara yang keempat yaitu, pembentukan karakter sosio hidraulik atau water culture. Sosio hidraulik adalah suatu pendekatan penyelesaian masalah keairan, lingkungan dan banjir dengan membangun kesadaran sosial massal, bagaimana masyarakat berperilaku terhadap air. Sedangkan Water Culture dalam masalah banjir dapat di artikan dengan kesiapan masyarakat yang terkena banjir atau yang sering terkena banjir untuk menguasai cara-cara penyelamatan barang atau jiwa sehingga kerugian dapat di minimalisir (Ar-Rouf and Marfu'ah, 2018).

2.4 Prinsip Konservasi tanah dan Air

Melihat kenyataan yang terjadi, konservasi DAS merupakan upaya-upaya pelestarian lingkungan yang didasari pada peran dan fungsi setiap wilayah dalam DAS dan mencakup aspek perlindungan, pemeliharaan dan pemanfaatan ekosistem secara berkelanjutan.

Berbagai ilmu pengetahuan dan informasi mengenai berbagai upaya-upaya konservasi untuk menyelamatkan ekosistem dan lingkungan dalam DAS telah banyak berkembang dan penting untuk disebarluaskan ke masyarakat luas melalui berbagai media.

Beberapa prinsip-prinsip konservasi tanah dan air yang menjadi pilihan yang dapat dilakukan secara berkala. Yang menjadi pilihan dalam partisipasi semua sektor dan yang berkepentingan untuk berpartisipasi konservasi tanah dan air.

Pada prinsipnya yang diperlukan dalam konservasi tanah dan air:

- 1) Mengusahakan agar kapasitas infiltrasi tanah tetap besar sehingga jumlah aliran permukaan dapat dikurangi.
- 2) Mengurangi laju aliran permukaan sehingga daya pengikisannya terhadap permukaan rendah dan material yang terbawa aliran dapat diendapkan.

Berikut adalah beberapa upaya-upaya konservasi DAS yakni:

- 1) Pemberdayaan masyarakat sekitar DAS; Masyarakat sekitar DAS merupakan komponen penting dalam upaya konservasi DAS. Sebab mereka merupakan aktor utama yang memanfaatkan sumber daya alam di sekitar DAS. Pemberdayaan bagi masyarakat sekitar DAS perlu dilakukan untuk meningkatkan kesadaran dan komitmen penduduk terkait perlunya perlindungan dan pelestarian terhadap sumber daya alam dan DAS.
- 2) Tindakan pengendalian untuk meminimalisir laju degradasi DAS: Tindakan ini berupa pengendalian lahan yang dapat ditanami. Selain itu, tindakan pengendalian juga menyangkut perbaikan sumber daya alam, seperti penanaman pohon,

penanaman tanaman semusim, dan perlindungan hutan dan air.

- 3) Pemanfaatan dan pengelolaan sumber daya alam DAS; Misalnya pengelolaan sumber daya air dengan melakukan penanaman tumbuhan yang mampu melindungi permukaan tanah dari curah hujan yang tinggi. Sehingga dapat membantu air hujan terserap ke dalam tanah dan mengalir secara perlahan ke Sungai.
- 4) Peran Sektor Swasta bersama Pemerintah: Salah satu upaya konservasi DAS yakni adanya kerjasama pengelolaan DAS berupa pembagian peran antara pemerintah pusat, pemerintah daerah, sektor swasta, dan Masyarakat. Pemerintah pusat memiliki peran untuk membuat kebijakan makro perencanaan pengelolaan DAS, sedangkan Pemerintah Daerah memiliki peran untuk mengimplementasikan kebijakan yang disusun oleh pemerintah pusat terkait pengelolaan DAS dan sektor swasta memiliki peran untuk mengelola lingkungan dengan melakukan kegiatan *Corporate Social Responsibility*.

Pengetahuan tentang teknologi konservasi tanah dan air yang banyak tersedia bahkan sebagian besar masyarakat telah mengetahui, namun dalam aplikasinya masih sering terlupakan bahkan diposisikan sebagai faktor penghambat dalam memenuhi kebutuhan ekonomi yang mendesak. Dalam tulisan ini akan kembali mengingatkan bahwa menerapkan teknologi konservasi tanah dan air tidaklah merugikan, namun sebaliknya akan memelihara keawetan fungsi tanah sebagai media produksi menjadi berkelanjutan (lestari) (Carter, 2002) dan mengatur perilaku aliran air sehingga tidak merusak lingkungan dan itulah paradigma konservasi tanah dan air sejak semula (Sallata, 2014).

2.5 Metode Konservasi tanah dan Air

Metode konservasi tanah dan air pada lahan Daerah Aliran Sungai (DAS), terdapat tiga metode yaitu; metode bergetatif, metode mekanik dan metode Kimia. Metode vegetatif juga dapat diartikan sebagai upaya rehabilitasi dan konservasi lahan dengan menanam beberapa jenis tanaman pohon dan/atau tanaman lainnya untuk menjaga penutupan tanah agar dapat mengikat butir tanah secara lebih kuat.

2.5.1 Jenis-Jenis Konservasi DAS

Konsep jenis konservasi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang umum adalah :

1) Konservasi secara agronomis

Konservasi tanah dan air secara vegetatif adalah penggunaan tanaman atau tumbuhan dan sisa tanaman dengan cara sedemikian rupa sehingga dapat mengurangi laju erosi dengan cara mengurangi daya rusak hujan yang jatuh dan jumlah daya rusak aliran permukaan. Konservasi tanah dan air secara vegetatif ini menjalankan fungsinya sebagai berikut:

- (a) Pengurangan daya perusak butiran hujan yang jatuh akibat intersepsi butiran hujan oleh dedaunan tanaman atau tajuk tanaman.
- (b) Pengurangan volume aliran permukaan akibat meningkatkan kapasitas infiltrasi oleh aktifitas perakaran tanaman dan penambahan bahan organik.
- (c) Peningkatan kehilangan air tanah akibat meningkatnya evapotranspirasi, sehingga tanah cepat lapar air.
- (d) Memperlambat aliran permukaan akibat meningkatnya panjang lintasan aliran permukaan oleh keberadaan batang-batang tanaman.

- (e) Pengurangan daya rusak aliran permukaan sebagai akibat pengurangan volume aliran permukaan, dan kecepatan aliran permukaan akibat meningkatnya panjang lintasan dan kekasaran permukaan.

2) Konservasi Secara Mekanis

Prinsip dasar konservasi tanah adalah mengurangi banyaknya tanah yang hilang akibat erosi, sedangkan prinsip konservasi air adalah memanfaatkan air hujan yang jatuh ke tanah se-efisien mungkin, mengendalikan kelebihan air dimusim hujan, dan menyediakan air yang cukup di musim kemarau. Dalam hal ini, konservasi secara mekanis mempunyai fungsi:

- (a) Memperlambat aliran permukaan;
- (b) Menampung dan mengalirkan aliran permukaan sehingga tidak merusak;
- (c) Memperbesar kapasitas infiltrasi air kedalam tanah dan memperbaiki aerasi tanah;
- (d) Menyediakan air bagi tanaman

3) Konservasi Secara Kimiawi

Sebagaimana telah disinggung di depan, bahwa struktur tanah merupakan salah satu sifat tanah yang sangat menentukan kepekaan tanah terhadap ancaman erosi. Oleh karena itu sejak tahun 1950-an telah dimulai adanya usaha-usaha untuk memperbaiki kemantapan struktur tanah melalui pemberian preparat-preparat kimia yang secara umum disebut pemantap tanah (*soil conditioner*). Sarief (1985) mengemukakan bahwa usaha pemantapan tanah yang bertujuan untuk sifat fisik tanah dengan menggunakan preparat-preparat kimia baik secara buatan atau alami, telah dikemukakan pertama kali pada simposium di philadelphia pada bulan Desember 1951. Pada saat itu diperkenalkan krilium sebagai bahan pemantap tanah

pertama oleh perusahaan amerika serikat. Krilium adalah senyawa garam natrium dari polyacrylonitrile yang terhidrolisa. Selang kurang dari dua tahun kemudian telah diperkenalkan ratusan paten bahan pemantap tanah yang sama.

Dari ketiga metode tersebut di atas, dijelaskan secara umum sebagai berikut (Sarminah, 2018) :

- (1) Melindungi terhadap daya perusak butir-butir hujan yang jatuh;
- (2) Melindungi terhadap daya perusak aliran permukaan tanah.
- (3) Memperbaiki kapasitas infiltrasi tanah dan penahanan air.
- (4) Memperbaiki porositas, stabilitas agregat serta sifat kimia tanah.
- (5) Meningkatkan daya resap tanah akan air.

Metode vegetatif sering juga disebut cara pengendalian erosi secara biologi (*biological erosion control*). Jenis-jenis metode atau tindakan vegetatif dalam pelaksanaan kegiatan rehabilitasi lahan dan konservasi antara lain:

- (1) Penanaman pada areal terbuka di kawasan pembangunan jalan dan pemukiman;
- (2) Areal terbuka pada kawasan pertanian dan perladangan, perkebunan dan kehutanan.

2.5.2 Tanaman Penutup Tanah

Tanaman penutup tanah adalah tumbuhan atau tanaman yang khusus ditanam untuk melindungi tanah dari ancaman kerusakan oleh erosi dan/atau untuk memperbaiki sifat kimia dan fisik tanah (Arsyad, 1989).

Secara umum, tanaman penutup tanah berperan untuk:

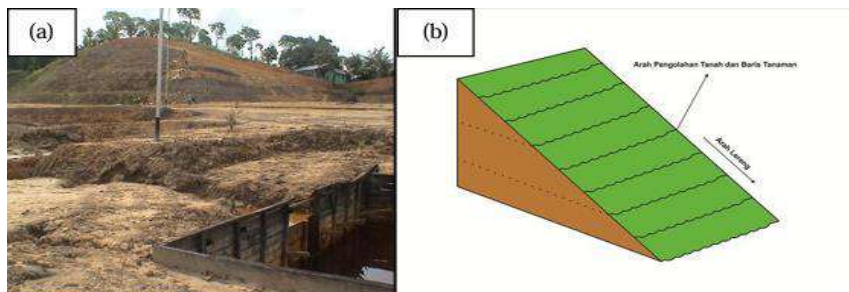
- 1) Menahan atau mengurangi daya perusak butir-butir hujan yang jatuh dan aliran air di atas permukaan tanah.
- 2) Menambah bahan organik tanah melalui batang, ranting dan daun mati yang jatuh. Peranan bahan organik adalah meningkatkan ketahanan struktur tanah, memperbesar kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air hujan yang jatuh dan menambah unsur hara.
- 3) Melakukan transpirasi yaitu mengurangi kandungan air tanah.
- 4) Menyebabkan berkurangnya kekuatan dispersi air hujan dan mengurangi jumlah serta kecepatan aliran permukaan, sehingga mengurangi memperbesar infiltrasi air ke dalam tanah.

Beberapa pertimbangan dalam pemilihan tanaman penutup tanah yaitu:

- 1) Cepat tumbuh, dapat menghalang tumbuhan pengganggu, mudah didapat.
- 2) Toleran terhadap tanah miskin, tempat tumbuh dan sinar matahari atau tahan terhadap penebaran.
- 3) Dapat memperkaya bahan organik.
- 4) Dapat merupakan nilai komersil, seperti sebagai makanan ternak, peneduh, dan lain-lain.

2.5.3 Penanaman Menurut Garis Kontur

Pengertian penanaman secara kontur (*contour cropping system*) adalah penanaman tanaman yang searah/sejajar dengan garis kontur atau dengan secara menyilang lereng tanah, bukan menjurus searah dari atas ke bawah lereng. Penanaman secara kontur sangat sesuai pada tanah-tanah dengan kemiringan 3-8%, namun kurang efektif pada tanah-tanah dengan kemiringan 8-25%.



Gambar 2. 1. (a) Pengolahan tanah (Foto: Zainuddin Mohraga) dan (b) Sketsa penanaman menurut kontur.

Kelas kelerengan tanah sangat berpengaruh terhadap jumlah limpasan permukaan dan massa tanah tererosi. Sarminah dkk. (2018) melaporkan penanaman sengon (*Falcataria moluccana*) dan kacang tanah (*Arachis hypogaea*) pada kelas kelerengan 15-25% menghasilkan limpasan permukaan sebesar 794,55 m³/ha/tahun dan massa tanah tererosi sebesar 20,05 ton/ha/tahun, sedangkan pada kelas kelerengan 25-40% mempunyai limpasan permukaan dan massa tanah tererosi masing-masing sebesar 846,61 m³/ha/tahun dan 45,50 ton/ha/tahun (Sarminah, 2018).

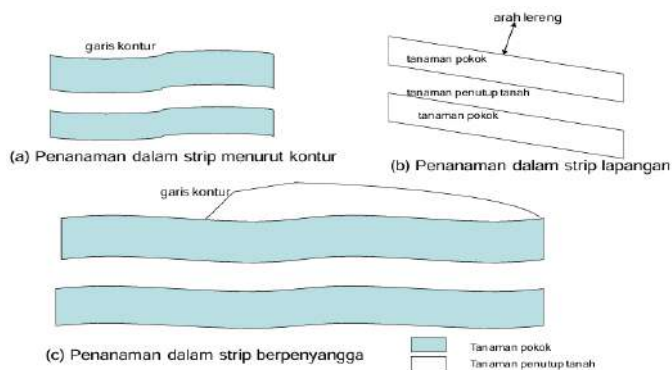
2.5.4 Penanaman dalam Strip/Larikan (*Strip Cropping*)

Pengertian penanaman dalam strip/larikan (*strip cropping*) adalah suatu cara bercocok tanam dengan satu atau beberapa tanaman, dimana masing-masing jenis tanaman ditanam dalam strip-strip yang berselang-seling, pada sebidang tanah dan disusun berdasarkan garis kontur atau memotong arah lereng. Penerapan penanaman dengan sistem ini bermanfaat dalam hal:

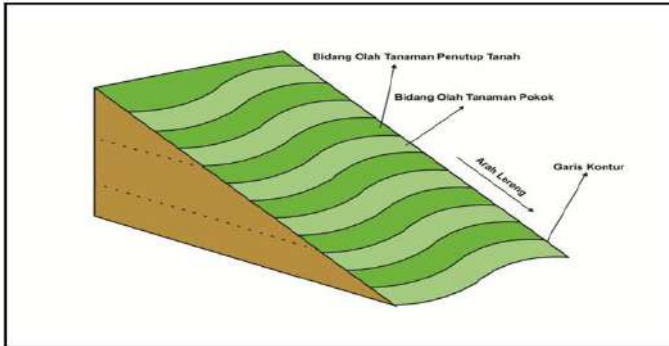
- 1) Dapat memperlambat lajunya aliran permukaan;
- 2) Untuk melindungi larikan-larikan tanaman dari pengaruh aliran permukaan.

Tanaman yang umumnya digunakan adalah tanaman pangan atau tanaman semusim diselingi dengan strip-strip tanaman yang lebih rapat berupa tanaman penutup tanah atau pupuk hijau. Dalam sistem ini semua pekerjaan pengolahan tanah dan pertanaman dilakukan memotong arah lereng. Untuk hasil yang lebih baik, dianjurkan sistem ini dikombinasikan dengan pergiliran tanaman dan penggunaan mulsa.

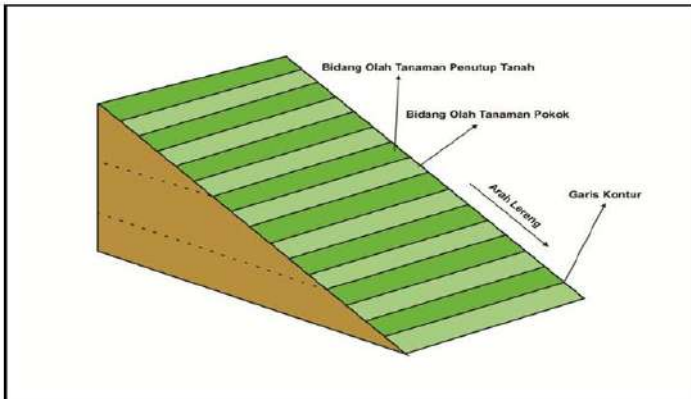
Penanaman dalam strip penyangga berarti bahwa diantara tanaman pokok ditanam tanaman penyangga (pengawet tanah), contoh tanaman kacang-kacangan atau rumput-rumputan yang sifatnya permanen dalam menutup tanah. Sistem ini dilakukan untuk mengatasi lahan-lahan yang sangat ekstrem dengan kelerengan yang tidak teratur. Kelebihan metode ini adalah lebar strip tidak selalu harus seragam. Denah tipe penanaman dalam strip/larikan ditampilkan pada Gambar 2. Sedangkan sketsa penanaman dalam strip menurut garis kontur, strip lapangan, dan strip penyangga disajikan pada Gambar 2.3, 2.4, dan 2.5.



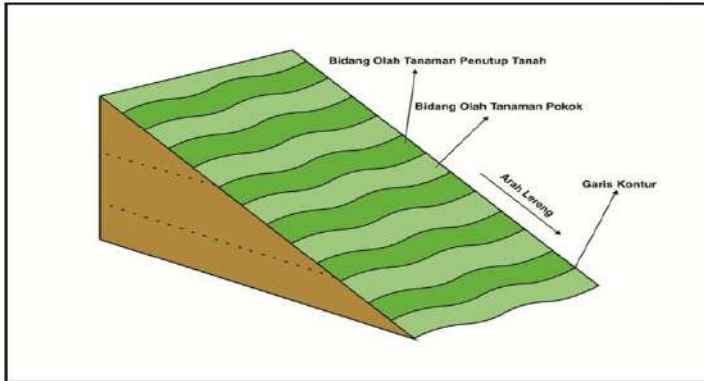
Gambar 2. 2. Denah tipe penanaman dalam strip/larikan (Sarminah, 2018)



Gambar 2. 3. Sketsa penanaman dalam strip menurut garis kontur (*contour strip cropping*). (Sarminah, 2018)



Gambar 2. 4. Sketsa penanaman dalam strip lapangan (*field strip cropping*) (Sarminah, 2018)



Gambar 2. 5. Sketsa dalam strip penyangga (*buffer strip cropping*). (Sarminah, 2018)

Secara umum lebar strip berkisar antara 20-50 m, Beberapa praktisi konservasi tanah dan air menyebutkan lebar strip berkisar antara 15-45 m dan lebar strip penyangga 2-4 m. Penentuan lebar strip dan rencana tata letak strip biasanya 39 berdasarkan pengalaman praktis, namun dapat pula diperkirakan dengan menggunakan rumus. Rumus untuk menghitung lebar strip di Amerika Serikat:

$$L = 33 - 2(s - 10)$$

Dimana: L = lebar strip (m), s = kemiringan/kecuraman lereng (%)

Sedangkan untuk menghitung lebar strip di bagian tenggara Amerika Serikat (Wischmeier & Smith, 1965) digunakan rumus:

$$W = 27 - \frac{3}{4}(s - 6)$$

Dimana : W = lebar strip (m), s = lereng (%) untuk tanah dengan lereng 2-18%

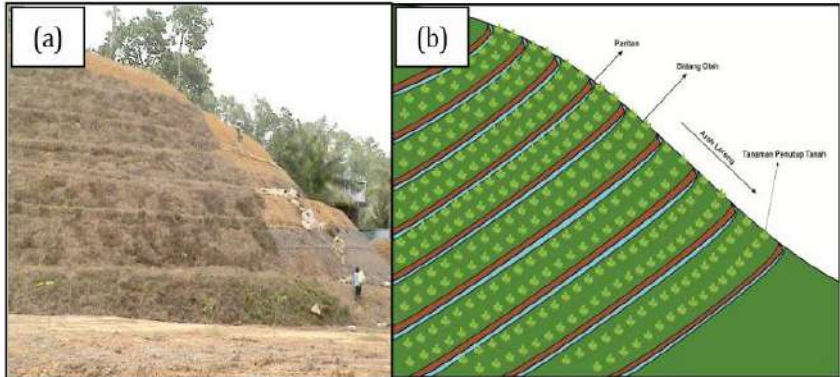
Penerapan tindakan konservasi tanah berpengaruh nyata terhadap erosi tanah. Fuady dkk. (2014) melaporkan penanaman sawit umur 5-7 bulan pada kemiringan lereng 15

25% dengan tindakan konservasi tanah kelapa sawit (*Elais guinensiss* Jacq.) + padi gogo (*Oryza sativa* L.) ditanam berurutan dengan kedelai + strip *Mucuna bracteata* menghasilkan erosi tanah sebesar 11,96 ton/ha. Sedangkan perlakuan sawit umur 5-7 bulan pada kemiringan lereng 30 40% dengan tindakan konservasi kelapa sawit + gulma dibiarkan tumbuh pada gawangan kelapa sawit menghasilkan erosi tanah sebesar 57,17 ton/ha. Gambar 3.6 menampilkan contoh dan desain penerapan strip pada lahan berlereng.

2.5.5 Pertanaman Berganda (*Multiple Cropping*) dan Pergiliran Tanaman (*Crop Rotation*)

Pengertian pertanaman berganda (*multiple cropping*) atau pergiliran tanaman (*crop rotation*) adalah sistem bercocok tanam dengan menggunakan beberapa jenis tanaman yang ditanam secara bersamaan (serentak), disisipkan, atau digilir pada sebidang tanah. Keuntungan cara ini dibandingkan sistem monokultur yaitu:

- (1) Tanah selalu tertutup vegetasi;
- (2) Pengolahan tanah dapat dikurangi namun tersedia cukup bahan mulsa, sehingga dapat memperbaiki sifat-sifat tanah;
- (3) Dapat menekan hama, penyakit, dan tumbuhan pengganggu.
- (4) Dapat mengurangi penganguran musiman.
- (5) Intensitas penggunaan lahan semakin tinggi, sebaliknya kebutuhan akan sarana produksi semakin berkurang.



Gambar 2. 6. (a) Persiapan pembuatan strip pada lahan berlereng (Foto: Zainuddin Mohraga) dan (b) Sketsa penerapan strip pada lahan berlereng (Sarminah, 2018)

Berdasarkan saat dan cara menanamnya, jenis-jenis sistem *multiple cropping* dibedakan menjadi:

- (1) Tumpang sari (*Inter cropping*) adalah suatu sistem bercocok tanam dengan menggunakan dua atau lebih jenis tanaman yang ditanam serentak (bersamaan) pada sebidang tanah. Penerapan sistem ini terdiri dari: a. *Mixed intercropping* (jika tanaman dicampur dengan tidak membentuk barisan-barisan tumbuhan). b. *Row intercropping* (jika tiap jenis tanaman ditanam membentuk barisan yang berselang-seling).
- (2) Pertanaman beruntun (*Sequential cropping*) adalah sistem bercocok tanam dengan menggunakan dua atau lebih jenis tanaman pada sebidang tanah, dimana tanaman kedua atau berikutnya ditanam bersamaan dengan pemanenan tanaman pertama. Tujuan sistem ini mempertinggi intensitas penggunaan tanah dalam 1 tahun. Misal kedelai ditanam setelah atau saat tanaman padi di sawah di panen.

2.6 Prinsip-prinsip Metode Mekanik

Pengertian metode mekanik adalah semua perlakuan fisik mekanis yang diberikan terhadap tanah dan pembuatan bangunan untuk mengurangi aliran permukaan dan erosi, dan meningkatkan kemampuan penggunaan tanah (Sarminah, 2018).

Beberapa fungsi metode mekanik dalam konservasi tanah adalah:

- 1) Memperlambat aliran permukaan.
- 2) Menampung dan menyalurkan aliran permukaan dengan kekuatan yang tidak merusak.
- 3) Memperbaiki atau memperbesar infiltrasi air ke dalam tanah dan memperbaiki aerasi tanah.
- 4) Penyediaan air bagi tanaman

Usaha pengendalian erosi dapat juga dilakukan dengan cara teknis mekanis walaupun pada kenyataannya cara ini membutuhkan pembiayaan yang besar dibanding cara vegetatif, karena menyangkut pembuatan prasarana seperti:

- 1) Pembuatan jalur-jalur bagi pengaliran air dari tempattempat tertentu ke tempat-tempat pembuangan (*water ways*).
- 2) Pembuatan teras-teras atau sengkedan-sengkedan agar aliran air dapat terhambat sehingga daya angkutnya berkurang.
- 3) Pembuatan selokan atau parit ataupun rorak-rorak pada tempat-tempat tertentu.
- 4) Melakukan pengolahan tanah sedemikian rupa sehingga sejajar dengan garis kontur.

Walaupun jelas cara ini memerlukan biaya yang cukup besar, namun demi terhindarnya erosi yang akan mengakibatkan kerugian yang jauh lebih besar, maka cara ini

sebaiknya diperhatikan. Secara umum yang termasuk metode mekanik dalam strategi konservasi tanah dan air antara lain:

- 1) Pengaturan sistem pengolahan tanah.
- 2) Pembuatan teras.
- 3) Pembuatan saluran pembuangan air (*water way*).
- 4) Pembuatan bendungan pengendali (*check dam*).

2.7 Prinsip-prinsip Metode Kimia

Pengertian metode kimia dalam konservasi tanah dan air adalah pemanfaatan bahan pemantap tanah (*soil conditioner*) dalam hal memperbaiki struktur tanah sehingga tanah akan tetap resisten terhadap erosi (Winata dkk., 1998). Sedangkan Arsyad (1989) mendefinisikan metode kimia merupakan penggunaan preparat kimia sintesis atau alami.

Penggunaan preparat kimia tersebut secara umum disebut pemantap struktur tanah (*soil conditioner*) akan mempunyai pengaruh dalam jangka lama. Beberapa keuntungan yang akan diperoleh dengan penggunaan bahan pemantap tanah tersebut (Sarminah, 2018):

- 1) Tahan terhadap serangan mikroba tanah.
- 2) Permeabilitas tanah dipertinggi dan erosi berkurang.
- 3) Memperbaiki pertumbuhan tanaman semusim pada tanah liat yang berat.

Penggunaan bahan kimia dalam upaya konservasi tanah dan air sebaiknya dilakukan pada keadaan yang sangat mendesak saja. Hal ini disebabkan harga bahan kimia sangat mahal. Namun walaupun harganya mahal, hasil yang diperoleh dari pemanfaatan bahan kimia sangat signifikan dalam upaya memperbaiki dan memantapkan struktur tanah.

Bahan kimia ini pertama kali digunakan oleh Van Bavel (1950) antara lain yaitu campuran *dimethyl dichlorosilane* dan *methyl trichlorosilane* yang disebut MCS. Perusahaan Monsanto *Chemical Company* pada tahun 1952 mengumumkan pembuatan bahan pemantap ini dengan merek dagang Krilium.

Berbagai bahan kimia yang dikembangkan untuk memperbaiki struktur tanah dapat dikelompokkan sebagai berikut:

1. *Polymer tak terionisasi: Polyvinyl alcohol (PVA)*
2. *Polyanion:*
 - (a) *Poly vinyl acetate (Pva);*
 - (b) *Poly acrylonitrile, setengah terhidrolisa (HpPAN);*
 - (c) *Poly acrylic acid (PAA);*
 - (d) *Vinyl acetate maleic acid copolymer (VAMA)*
3. *Polycation: dimethyl aminoethyl metacrylate (DAEMA);*
4. *Dipo*
5. *le polymer, mempunyai gugus positif dan negatif: Polyacrylamide (PAM)*
6. *Emulsi bitumen.*

DAFTAR PUSTAKA

- Alfian, A. R. (2023) *Krisis Air di Indonesia: Fenomena, Dampak & Solusi*. Suluah Kato Khatulistiwa.
- Ar-Rouf, F. B. and Marfu'ah, A. U. (2018) 'Analisis Kebijakan Otonomi Daerah Terhadap Pengelolaan dan Fungsi Sungai', in. Prosiding Seminar Nasional Geografi UMS IX 2018.
- Arsyad, S. and Rustiadi, E. (2008) *Penyelamatan tanah, air, dan lingkungan*. Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Auliyani, D. (2020) 'Upaya konservasi tanah dan air pada daerah pertanian dataran tinggi di Sub-Daerah Aliran Sungai Gandul (Soil and water conservation efforts in the highland agriculture area in Gandul Sub Watershed)', *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia (JIPI)*, 25(3), pp. 382–387.
- Carter, M. R. (2002) 'Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions', *Agronomy journal*, 94(1), pp. 38–47.
- Hilman, M. *et al.* (2007) 'Tata Ruang dan Perubahan Iklim'. Deputi III MENLH Bidang Peningkatan Konversi Sumber Daya Alam dan
- Juwono, P. T. and Subagiyo, A. (2017) *Ruang Air dan Tata Ruang: Pendekatan teknis keairan dan pembangunan berkelanjutan dalam penanganan banjir perkotaan*. Universitas Brawijaya Press.
- Rayhani, R. N. and Rahmadi, A. (2017) 'Konservasi tanah dan air pada tanah terdegradasi di lahan Kampus II UIN Sunan Gunung Djati Bandung', *Digilib*.
- Sallata, M. K. (2014) 'Paradigma konservasi tanah dan air: hubungannya kerusakan lingkungan', *Buletin Eboni*, 11(2), pp. 81–94.

Sarminah, S. (2018) *Teknologi Konservasi Tanah dan Air*.
Mulawarman University Press.

[https://www.liputan6.com/hot/read/5282314/konservasi-
adalah-upaya-pemeliharaan-sesuatu-pahami-tujuan-dan-
manfaatnya](https://www.liputan6.com/hot/read/5282314/konservasi-adalah-upaya-pemeliharaan-sesuatu-pahami-tujuan-dan-manfaatnya)

[https://www.kompas.com/skola/read/2020/12/08/18120506
9/konservasi-daerah-aliran-sungai-das](https://www.kompas.com/skola/read/2020/12/08/181205069/konservasi-daerah-aliran-sungai-das)

<https://jasatirta1.co.id/konservasi-daerah-aliran-sungai/>

[https://dmc.dompethuafa.org/upaya-upaya-konservasi-
daerah-aliran-sungai-yang-mengalami-kritis/](https://dmc.dompethuafa.org/upaya-upaya-konservasi-daerah-aliran-sungai-yang-mengalami-kritis/)

BAB 3

DEGRADASI DAN PENYEBAB DEGRADASI

Oleh Lusia Sulo Marimpan

3.1 Pendahuluan

Hutan sangat berperan dalam menyediakan kebutuhan manusia baik kayu, pangan, dan Hasil Hutan Bukan Kayu (HHBK) termasuk jasa lingkungan. Jika hutan yang mengalami kerusakan akan memberikan dampak bagi nilai ekologi, ekonomi dan sosial. Kerusakan hutan kebanyakan karena aktivitas antropogenik. Kerusakan hutan menyiratkan adanya perubahan struktur hutan karena hutan yang rusak tidak lagi menyediakan jasa ekosistem yang sama dengan hutan primer (Quang et al. 2022), karena perubahan struktural menyebabkan hilangnya karbon dalam jumlah yang besar. Akumulasi karbon di hutan tropis yang terganggu secara antropogenik menunjukkan penurunan yang sangat signifikan (Pinagé et al. 2022), menunjukkan bahwa hutan dapat menangkap sejumlah karbon sehingga perlu dipulihkan. Menurut (Navarette et al. 2022), gangguan terhadap hutan dapat mendorong perubahan besar dalam komunitas tumbuhan dan mikroba yang mengakibatkan perubahan biogeokimia yang substansial.

Degradasi hutan mengacu pada penurunan kualitas dan kondisi hutan akibat aktivitas manusia atau faktor alam seperti kebakaran hutan, penebangan liar, perambahan hutan penggembalaan liar. Degradasi berdampak pada hilangnya

keanekaragaman hayati dan habitat alami bagi satwa liar, peningkatan emisi karbon dan kontribusi terhadap perubahan iklim, erosi tanah dan banjir akibat hilangnya tutupan vegetasi, penurunan kualitas air dan sumber air bersih. serta dampak sosial-ekonomi bagi masyarakat yang bergantung pada hutan. Degradasi hutan merupakan tantangan global yang memerlukan upaya berkelanjutan dari berbagai pihak, baik pemerintah, organisasi non-pemerintah, masyarakat, maupun individu, untuk menjaga kelestarian hutan demi keseimbangan ekosistem dan kehidupan yang berkelanjutan. Bab ini menguraikan degradasi hutan pada tiga status kawasan hutan yaitu hutan produksi, hutan lindung dan hutan konservasi yang terdapat di hutan yang dipengaruhi oleh iklim kering. Tegakan yang mendominasi hutan tersebut adalah tegakan *E. urophylla*.

3.2 Kerangka Pikir Pengukuran Tutupan Lahan dan Degradasi Hutan

Metode yang digunakan untuk menentukan tipe kerusakan hutan adalah metode penginderaan jauh dengan sumber data utama yaitu data dari citra. Peta dan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Citra Landsat 8 OLI *Surface Reflectance* (patch/row : 110/65) tanggal 2 Mei Agustus 2022 untuk area penelitian Desa Lelogama sedangkan untuk area Desa Mutis (patch/row: 110/67) tanggal 30 April 2022. Database Landsat *Surface Reflectance* merupakan database paling cocok untuk digunakan pada kajian geo analisis yang berkaitan dengan *change detection*. Database ini memiliki level koreksi tertinggi dalam mewakili kondisi aktual di lapangan (Engelstad dan Carver, 2021)

Perubahan tutupan lahan pada tahun 2002, 2007, 2012, 2017, dan tahun 2022 dianalisis dengan menggunakan landsat 7 dan landsat 8. Citra landsat 8 yang sudah dikoreksi radiometrik dipergunakan untuk mengekstraksi data variabel-variabel yang dibutuhkan untuk membuat peta satuan lahan (Forestriko, 2016). Data yang diekstraksi dari citra landsat adalah data berupa tutupan lahan. Informasi tutupan lahan dilakukan dengan menggunakan teknik klasifikasi terbimbing/*supervised* menggunakan algoritma *support vector machine* yang tersedia dalam *tools* klasifikasi di *software Arcmap*. Klasifikasi terbimbing didasari konsep bahwa pengguna dapat memilih sampel piksel dalam suatu citra yang mewakili tutupan lahan tertentu dan kemudian menjadi referensi klasifikasi piksel lain dalam citra tersebut (HCS Approach Steering Groups Eds, 2015). Dari hasil klasifikasi nantinya, didapatkan dengan menggunakan input visual band (RGB) dengan tambahan input indeks vegetasi *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dan diperoleh 3 kelas hutan kerapatan tinggi, hutan kerapatan rendah, dan semak belukar. Keterbatasan input data citra pada dukungan resolusi medium diputuskan untuk ditentukan hanya tiga kelas penutupan sesuai konteks degradasi hutan yang terjadi. Setelah mendapatkan informasi penutupan lahan secara *time series* kemudian dioverlay untuk memperoleh perubahan tutupan lahan. Langkah selanjutnya dioverlaykan lagi dengan peta hasil *ground checking* kerusakan dari lapangan dengan *purposive sampling* sehingga diperoleh penyebab kerusakan antropogenik. Sugiyono (2020), menyatakan bahwa *purposive sampling* merupakan teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu. Pengecekan langsung di lapangan dilakukan dengan menginventarisasi lokasi yang mengalami kerusakan berdasarkan hasil citra yakni yang memiliki kerapatan rendah dan semak belukar. Intensitas sampling yang digunakan adalah

50 %. Pada saat pengecekan di lapangan dilakukan pendataan terhadap tipe kerusakan yang ada.

Objek tutupan ini kemudian dilihat dinamika perubahannya berdasarkan rentang waktu yang telah ditentukan. Input *training area* dilakukan dengan mengacu pada masukan citra satelit dan dibantu dengan citra resolusi tinggi untuk membantu interpretasi penutupan lahan. Peta penyebab kerusakan didapatkan dengan cara mengoverlay peta perubahan tutupan lahan dengan sampel penyebab kerusakan yang diperoleh dari lapangan. Citra landsat 7 untuk data klasifikasi dioverlaykan tahun 2002 dan 2007, dan citra landsat 8 untuk data klasifikasi dioverlaykan pada tahun 2012, 2017 dan 2022, untuk memperoleh perubahan pertahunnya.

3.2.1 Pemrosesan Data Citra Penginderaan Jauh

Analisis data penginderaan jauh secara multi temporal untuk menjawab tujuan dari penelitian yang telah disebutkan. Analisis penginderaan jauh dilakukan dengan memanfaatkan ketersediaan citra landsat yang dapat diakses secara bebas. Citra landsat merupakan citra satelit dengan resolusi medium (30 x 30 m) dengan ketersediaan data melimpah yang telah memulai perekaman dari tahun 1984 hingga saat ini (Hongwei et al., 2020). Pada tipe landsat 8 dan 7 dapat dilakukan proses penajaman sehingga diperoleh kualitas citra dengan peningkatan resolusi spasial menjadi 15 x 15 m. Langkah selanjutnya, proses analisis menggunakan Arcmap untuk proses klasifikasi dan overlay sehingga diperoleh hasil distribusi spasial hasil klasifikasi, perubahan tutupan lahan dan luasan.

3.2.2 Analisis Data

Analisis berupa kerusakan hutan *E. urophylla* berdasarkan tipe kerusakannya pada tahun 2002, 2007, 2012, 2017 dan 2022 dilakukan dengan cara overlay peta dengan rentang 5 tahun. Hasil overlay ini kemudian ditampilkan dalam bentuk matriks perubahan penyebab kerusakan antropogenik.

a. Klasifikasi Tutupan Lahan

Metode klasifikasi dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan teknik klasifikasi digital berbasis *supervised*/terbimbing. Didefinisikan terbimbing karena dibutuhkan training area (*region of interest*) dalam menuntut tipe objek tutupan yang ingin ditentukan (Danoedoro, 1996). Penentuan training area yang tepat akan mempengaruhi akurasi yang akan didapatkan menjadi lebih baik (Breiman, 2001; Nomura and Mitchard, 2018; Tsai et al., 2018). *Ground check* dilakukan untuk mengecek keakuratan hasil peta tutupan lahan dengan yang sebenarnya di lapangan. Data lapangan dapat diambil menggunakan GPS dengan melakukan *tracking* pada suatu lokasi tertentu yang mudah dicapai di lapangan serta mudah diketahui posisinya di citra. Pengambilan data lapang dilakukan sebagai satu kegiatan yang penting dalam interpretasi citra satelit. Kegiatan ini memberikan penjelasan mengenai kondisi ekosistem sebenarnya di lapangan. Kegiatan *ground check* meliputi tipe kerusakan pada kawasan hutan jenis vegetasi *E. urophylla*.

Kelas tutupan operasional pada penelitian ini ditentukan berdasarkan konteks degradasi lahan pada kawasan hutan pada lokasi kajian. Kelas penutupan lahan operasional disajikan pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1. Kelas tutupan operasional berdasarkan kerusakan hutan

No	Kelas tutupan	Definisi	Alasan
1	Hutan kerapatan tinggi	Seluruh penampakan hutan dataran rendah, perbukitan dan pegunungan (dataran tinggi) yang memiliki homogenitas kerapatan tinggi yang dicirikan dominannya jenis vegetasi pohon dengan kanopi yang rapat dan padat. Visual Citra: 	Mendefinisikan sebagai tutupan yang didominasi oleh tanaman keras. Hutan kerapatan tinggi merupakan objek tutupan yang memiliki kondisi kualitas vegetasi hutan yang tinggi sehingga fungsi dan potensi hutan tersebut masih dalam kondisi yang baik. Dalam konteks kerusakan hutan, tutupan ini merupakan tutupan yang ideal yang mendefinisikan kondisi hutan pada kawasan hutan.
2	Hutan kerapatan rendah	Semua penampakan hutan dataran rendah yang memiliki	Mendefinisikan sebagai tutupan yang berisi vegetasi hutan dengan

No	Kelas tutupan	Definisi	Alasan
		kondisi kerapatan lebih rendah dari hutan kerapatan tinggi yang disebabkan karena faktor alami maupun akibat adanya kerusakan. Visual Citra: 	kualitas kerapatan rendah yang terjadi karena adanya faktor alami mempertimbangkan faktor kondisi biofisik sehingga mempengaruhi tipe hutan yang terbentuk. Selain itu, pada tutupan ini dapat menjadi akibat adanya proses degradasi yang terjadi atau penurunan kualitas atau kerusakan dari hutan kerapatan tinggi yang terjadi namun dalam sedang dalam proses pemulihan (suksesi/restorasi).
3	Semak/belukar	Semua penampakan berupa vegetasi non tanaman kayu keras. Visual Citra:	Mendefinisikan sebagai tutupan yang berisi vegetasi rendah semak/belukar atau tanaman non kayu keras, yang terjadi akibat adanya kerusakan

No	Kelas tutupan	Definisi	Alasan
			khususnya kerusakan antropogenik atau kecil dipengaruhi adanya faktor tipe hutan. Tutupan ini mendefinisikan proses kerusakan yang terjadi akibatnya rusaknya pada tutupan hutan kerapatan tinggi, maupun hutan kerapatan rendah. Dikarenakan keterbatasan kualitas input data penginderaan jauh, tutupan ini juga mewakili tutupan yang terjadi akibat kerusakan yaitu lahan pertanian, tanah terbuka, dan tutupan vegetasi yang bukan tanaman keras.

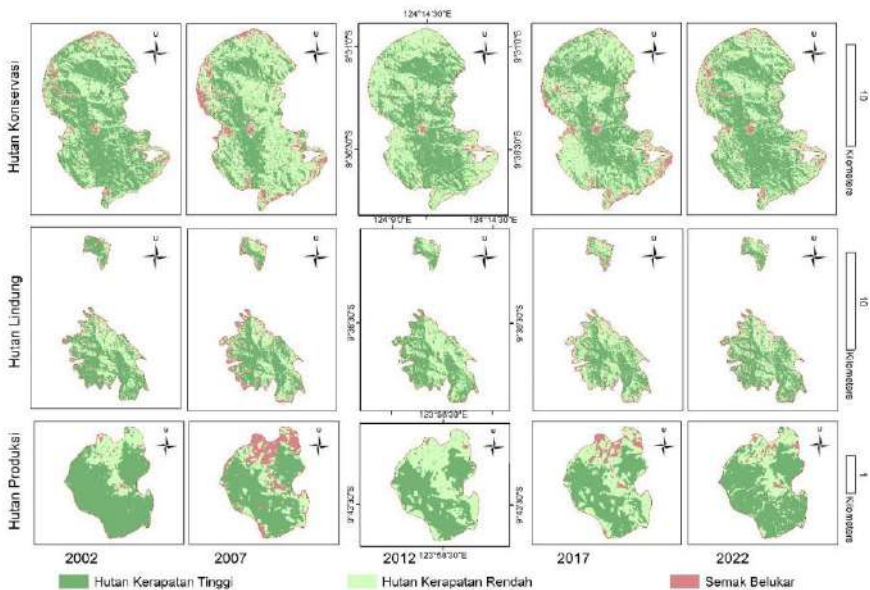
b. Klasifikasi Penyebab Kerusakan Antropogenik

Peta penutupan lahan yang telah diperoleh selanjutnya dilakukan overlay dengan peta kerusakan. Metode yang dilakukan adalah klasifikasi terbimbing karena menggunakan hasil pengecekan di lapangan. Hasil overlay inilah diperoleh peta perubahan kerusakan antropogenik dari tahun 2002-2022. Data lapangan yang diperoleh secara detail, kemudian ditampilkan kondisi kerusakan pada perubahan tutupan hutan yang terjadi pada interval waktu 2002-2022.

3.2.3 Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan merupakan salah satu kunci dalam menentukan perubahan iklim secara mikro yang tentu berdampak secara global. Perubahan tutupan lahan pada kawasan hutan disebabkan aktivitas manusia yang memang susah dihindari karena hutan sebagai sumber bahan pangan, papan dan pemenuhan kayu bakar sehari-hari. Perubahan tutupan lahan dalam penelitian ini terjadi dari hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah, hutan kerapatan tinggi menjadi semak belukar, hutan kerapatan rendah menjadi semak belukar atau sebaliknya dari semak belukar menjadi hutan kerapatan rendah, semak belukar menjadi hutan kerapatan tinggi dan hutan kerapatan rendah menjadi hutan kerapatan tinggi. Kerusakan terjadi karena adanya perubahan tutupan lahan dari hutan yang memiliki kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah atau perubahan dari hutan kerapatan rendah menjadi semak belukar. Kerusakan yang terjadi disebabkan oleh aktivitas antropogenik berupa perambahan, kebakaran, penebangan liar, pencurian kayu bakar, perkebunan, perladangan, persawahan dan penggembalaan ternak. Perubahan tutupan lahan pada hutan produksi, hutan lindung

dan hutan konservasi dari tahun 2002-2022 tersaji pada Gambar 3.1.

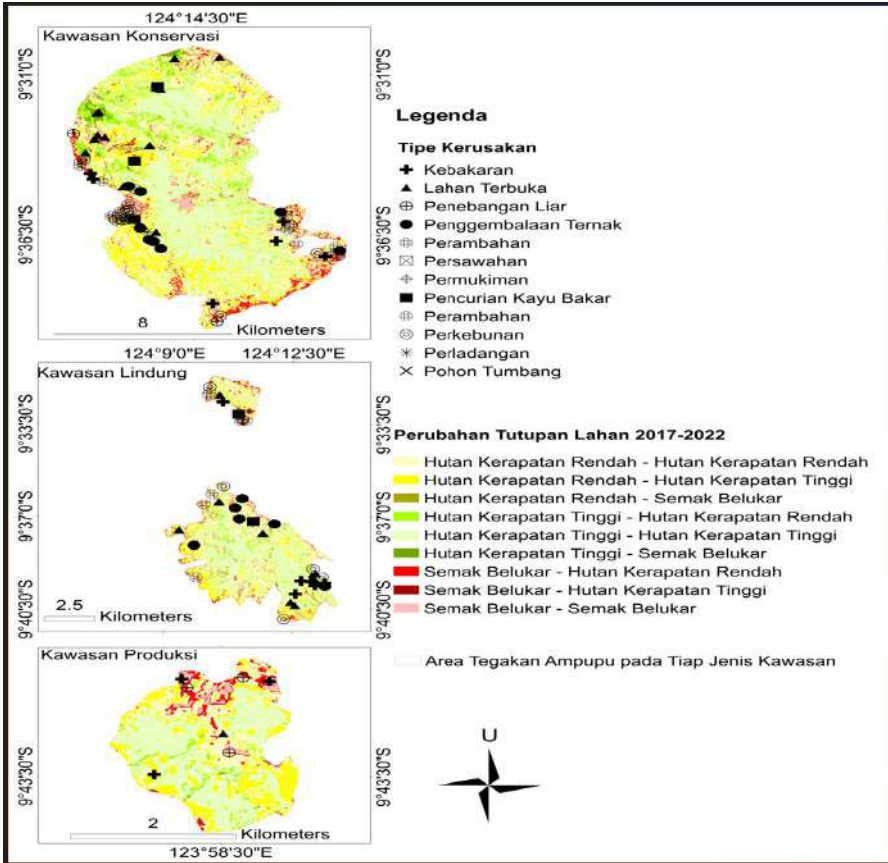


Gambar 3. 1. Perubahan tutupan lahan pada hutan produksi, hutan lindung dan hutan konservasi

Kebijakan pemerintah turut menentukan kelestarian hutan di masa yang akan datang. Peraturan pemerintah di bidang kehutanan harusnya bisa berpihak pada kelestarian hutan dan mempertimbangkan kesejahteraan masyarakat lokal yang ada di sekitar hutan. Hutan yang lestari menciptakan fungsinya secara ekologi yang efektif dan efisien. Masyarakat yang memiliki tingkat perekonomian bagus tidak akan merusak hutan untuk memenuhi kebutuhan. Oleh karena itu kesejahteraan masyarakat mempengaruhi kerusakan hutan.

Hutan produksi dalam fungsinya sebagai penghasil kayu dan bukan kayu seharusnya bisa memberikan kontribusi yang banyak kepada masyarakat. Kepentingan masyarakat di sekitar

hutan lebih diperhatikan untuk membantu memenuhi kebutuhan. Kawasan hutan lindung dan hutan konservasi jika dikelola sesuai dengan fungsi lindung dan fungsi konservasi, membatasi masyarakat masuk beraktivitas di dalam kawasan tersebut. Oleh karena itu di sekitar pinggir hutan lindung dan hutan konservasi terjadi kegiatan antropogenik diantaranya perambahan, perladangan atau perkebunan. Pembukaan lahan pada saat persiapan musim tanam dilakukan dengan membakar, yang akhirnya api meluas masuk ke dalam hutan. Penebangan liar dilakukan untuk mendapatkan kayu pertukangan dan kayu bakar. Penggembalaan ternak banyak dijumpai di dalam kawasan hutan lindung dan hutan konservasi. Kerusakan hutan yang terjadi pada tahun 2022 tersaji pada Gambar 4.2.



Gambar 3. 2. Tipe kerusakan yang terdapat pada tutupan lahan tahun 2022

Perubahan tutupan lahan pada hutan produksi, hutan lindung dan hutan konservasi dibuat dalam bentuk matriks untuk memudahkan dalam memahami seberapa luas perubahan yang terjadi selama selang 5 tahunan. Perubahan hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah atau semak belukar atau sebaliknya dapat dilihat berdasarkan luasan masing-masing dari perubahan tersebut. Hasil interpretasi perubahan tutupan lahan pada hutan produksi dengan klasifikasi data citra landsat tahun 2002-2022 tersaji pada Tabel 5 berikut:

Tabel 3. 2. Matriks perubahan tutupan lahan pada hutan produksi tahun 2002-2022

2007 2002	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	238,29	70,86	16,86
Hutan kerapatan rendah	6,07	34,90	56,64
Semak belukar	0,49	0,85	6,87
2012 2007	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	211,92	32,92	
Hutan kerapatan rendah	13,89	92,44	0,01
Semak belukar	0,91	74,05	5,81
2017 2012	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	198,24	28,22	0,04
Hutan kerapatan rendah	16,20	152,19	31,65
Semak belukar		0,04	5,68

2022 2017	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	198,52	15,67	0,39
Hutan kerapatan rendah	93,46	85,74	2,29
Semak belukar	0,44	22,50	14,58

Sumber : Pengolahan data 2022

Keterangan: Angka tebal menunjukkan tidak ada perubahan penyebab kerusakan antropogenik

Berdasarkan matriks perubahan tutupan lahan hutan produksi (Tabel 3.2) maka dapat dijabarkan penyebab perubahan tersebut. Penyebab kerusakan yang paling dominan pada tahun 2002-2007 adalah kebakaran dengan luasan 70,86 ha (16,46 %) di mana perubahan yang terjadi adalah hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah. Perubahan tutupan hutan dari kerapatan tinggi menjadi semak belukar disebabkan oleh lahan terbuka. Perubahan dari kerapatan rendah menjadi semak belukar disebabkan oleh aktivitas penebangan liar dan perambahan.

Tahun 2007-2012 penyebab kerusakan yang paling dominan disebabkan oleh adanya kegiatan kebakaran dan lahan terbuka yang sebelumnya dilakukan perambahan dengan luasan 32,92 ha (7,65 %). Pada tahun 2012-2017 penyebab kerusakan paling dominan disebabkan kebakaran dan lahan terbuka dengan luasan 31,65 ha (7,36). Pada periode ini ditemukan juga penyebab kerusakan hutan *E. urophylla* karena adanya penebangan kayu dan pencurian kayu bakar. Perubahan tutupan

lahan tahun 2017-2022 penyebab kerusakan hutan paling dominan disebabkan oleh perambahan dan penebangan pohon dengan luasan 15,67 ha (3,64 %). Lahan terbuka juga ditemukan pada periode ini.

Penelitian menemukan bahwa penyebab perubahan tutupan lahan di hutan produksi dominan disebabkan oleh adanya kebakaran hutan yang terjadi setiap tahun. Praktek pembukaan lahan yang dilakukan oleh masyarakat dengan sistem tebas bakar mempengaruhi kebakaran hutan. Faktor lain adalah kebiasaan masyarakat lokal dengan membuat perapian di malam hari pada saat berburu kuskus yang lupa dipadamkan sehingga memicu terjadinya kebakaran hutan.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan di hutan Produksi di Prescott dan Tonto, Arizona Tengah Amerika Serikat ditemukan bahwa luas hutan menurun sebesar 0,3% dan 0,8% dari tahun 1985 hingga 2020 karena dipicu kebakaran hutan yang diperparah dengan kekeringan pada wilayah setempat dan penebangan (Rodman *et al.*, 2022). Penelitian yang dilakukan pada hutan mangrove menemukan bahwa faktor utama pendorong dari perubahan tutupan lahan di kawasan tersebut karena tingginya kegiatan antropogenik khususnya budidaya udang (Chowdhury dan Hafsa, 2022). Penelitian yang dilakukan di kawasan hidrologis gambut Bengkalis Riau menemukan bahwa penyebab kerusakan hutan yang sangat tinggi tahun 1990-2000 karena adanya kegiatan perkebunan campuran yang dilakukan oleh para transmigran (Juniyanti *et al.*, 2020).

Penyebab perubahan tutupan lahan pada hutan lindung lebih kompleks dibandingkan dengan hutan produksi. Hasil interpretasi perubahan tutupan lahan pada hutan lindung

dengan klasifikasi data citra landsat tahun 2002 dan 2022 tersaji pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 3. 3. Matriks perubahan tutupan lahan pada hutan lindung tahun 2002-2022

2007 2002	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	1.898,24	508,88	221,67
Hutan kerapatan rendah	364,24	1.159,50	170,99
Semak belukar	15,46	103,23	180,52
2012 2007	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	1.811,85	464,21	1,63
Hutan kerapatan rendah	384,41	1.366,78	20,94
Semak belukar	283,46	247,78	42,64
2017 2012	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	1.651,19	741,01	86,88
Hutan kerapatan rendah	403,84	1.448,28	225,57

Semak belukar	0,49	10,55	53,81
2022 2017	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	1.779,01	268,25	9,58
Hutan kerapatan rendah	656,43	1.424,17	124,71
Semak belukar	26,31	149,91	195,55

Sumber : Pengolahan data 2022

Keterangan: Angka tebal menunjukkan tidak ada perubahan penyebab kerusakan antropogenik

Berdasarkan matriks pada Tabel 3.3 maka dapat dijabarkan penyebab perubahan tutupan lahan. Perubahan tutupan hutan tahun 2002-2007 *E. urophylla* pada hutan lindung didominasi oleh kerusakan karena adanya lahan terbuka, perambahan, penggembalaan ternak dan pencurian kayu bakar dengan luasan 508,88 ha (10,99 %). Perubahan tutupan ini dari hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah. Perubahan tutupan lainnya dari kerapatan tinggi menjadi semak belukar disebabkan karena adanya perkebunan dan perambahan. Perubahan kerapatan rendah menjadi semak belukar disebabkan oleh adanya perkebunan, lahan terbuka, penebangan liar, perambahan dan kebakaran.

Perubahan tutupan lahan tahun 2007-2012 dari hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah dengan luasan 464,21 ha (10,02 %) dominan disebabkan oleh adanya lahan terbuka, perambahan, penggembalaan ternak dan pencurian kayu bakar. Lahan terbuka pada hutan lindung sebagian

disebabkan oleh terjadinya longsor dan sebagiannya lagi berupa padang yang kosong. Pada tahun 2012-2017 perubahan dari hutan kerapatan tinggi menjadi kerapatan rendah dominan disebabkan oleh perkebunan, perambahan, lahan terbuka dan pencurian kayu bakar dengan luasan 741,01 ha (16,00 %). Kerusakan lain walaupun dalam skala kecil disebabkan karena penggembalaan ternak. Perubahan tutupan lahan tahun 2017-2022 dari hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah dengan luasan 268,25 ha (5,79 %) dominan disebabkan oleh kebakaran, perkebunan dan penggembalaan ternak. Penyebab kerusakan lain karena adanya lahan terbuka, perambahan, penggembalaan ternak, pencurian kayu bakar dan penebangan liar.

Perubahan tutupan lahan menjadi tidak berhutan pada hutan lindung Mutis Timau disebabkan oleh adanya perkebunan, pertanian dan pemukiman (Dako, 2020). Amponsah et al. (2022), mengatakan bahwa tutupan hutan yang menurun sekitar 24,0% dari hutan terbukanya dan 37,1% dari kawasan semak/herbanya, sebaliknya pada areal gundul meningkat 243,7% antara tahun 1990 dan 2021 pada Hutan Lindung Atewa Range akibat aktivitas antropogenik. Lebih lanjut dikatakan bahwa terdapat 12 spesies leguminosae yang terancam punah karena kerusakan hutan tersebut. Untuk mempertahankan hutan lindung peranan masyarakat adat sangat penting. Karena hukum adat yang ada dan dipatuhi masyarakatnya bisa menghentikan kegiatan eksploitasi hutan. Hasil penelitian Kumar et al. (2020), menunjukkan bahwa 8,01 hektar hutan kehilangan tutupan lahan akibat degradasi yang terjadi pada hutan di Mayadevi. Kegiatan pertanian, produksi arang, berburu satwa dan memanen hasil hutan bukan kayu merupakan kegiatan mata pencaharian utama masyarakat setempat yang berdampak pada perubahan tutupan lahan

dengan kerusakan hutan diperkirakan 1.627 ha, (Acheampong *et al.*, 2022).

Perubahan tutupan lahan pada hutan konservasi memiliki kasus yang hampir sama dengan hutan lindung. Kasus klaim hutan adat (Desa Bonleu) ditemukan di hutan konservasi yang mengakibatkan aktivitas masyarakat meningkat pesat dalam kawasan. Hasil interpretasi perubahan tutupan lahan pada hutan konservasi dengan klasifikasi data citra landsat tahun 2002 dan 2022 tersaji pada Tabel 3.4:

Tabel 3. 4. Matriks perubahan tutupan lahan pada hutan konservasi tahun 2002-2022

2002 \ 2007	2007	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
	2002	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi		3.878,78	3.120,79	99,56
Hutan kerapatan rendah		505,90	3.419,07	639,04
Semak belukar		16,24	172,73	432,59
2007 \ 2012	2012	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
	2007	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi		3.458,14	920,81	22,08
Hutan kerapatan rendah		2.390,68	4.242,24	80,16
Semak belukar		29,91	928,08	213,52

2017 2012	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	4.166,06	1.696,62	16,30
Hutan kerapatan rendah	1.375,18	4.027,96	688,19
Semak belukar	23,35	98,60	193,45
2022 2017	Hutan kerapatan tinggi	Hutan kerapatan rendah	Semak belukar
Hutan kerapatan tinggi	4.331,09	1.120,81	114,74
Hutan kerapatan rendah	2.078,47	3.515,72	235,05
Semak belukar	37,87	538,74	323,67

Sumber : Pengolahan data 2022

Keterangan: Angka tebal menunjukkan tidak ada perubahan penyebab kerusakan antropogenik

Berdasarkan matriks pada Tabel 4.4, dapat dijelaskan penyebab perubahan tutupan lahan pada hutan konservasi. Perubahan tutupan lahan tahun 2002-2007 *E. urophylla* pada hutan konservasi dari hutan kerapatan rendah menjadi semak belukar dengan luasan 639,04 ha (5,19 %) dominan disebabkan oleh adanya kerusakan karena perladangan, perambahan, kebakaran, perkebunan, penebangan liar, lahan terbuka, persawahan, dan penggembalaan ternak. Perubahan tutupan lahan tahun 2007-2012 dari hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah dengan luasan 920,81 ha (7,48 %)

disebabkan oleh kerusakan karena perambahan. Perubahan tutupan hutan juga disebabkan lahan terbuka dan penggembalaan ternak.

Perubahan tutupan lahan tahun 2012-2017 dari hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah dengan luasan 1.696,62 ha (13,78 %) dominan disebabkan oleh kerusakan karena pencurian kayu bakar dan penggembalaan ternak. Perubahan hutan kerapatan tinggi menjadi semak belukar disebabkan oleh adanya kerusakan karena perladangan, perkebunan dan lahan terbuka. Perubahan kerapatan rendah ke semak belukar disebabkan oleh adanya kerusakan karena lahan terbuka, perladangan, penebangan liar, pencurian kayu bakar, perambahan, perkebunan, kebakaran dan penggembalaan ternak.

Perubahan tutupan lahan tahun 2017-2022 dari hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah dengan luasan 1.120,81 ha (9,10 %) dominan disebabkan oleh kerusakan karena lahan terbuka, perkebunan dan pencurian kayu bakar. Perubahan hutan kerapatan tinggi menjadi semak belukar disebabkan oleh adanya kerusakan karena lahan terbuka dan perambahan. Perubahan kerapatan rendah ke semak belukar disebabkan oleh adanya kerusakan karena lahan terbuka, penggembalaan ternak, perambahan, perkebunan dan kebakaran.

Andrew et al. (2022), mengatakan bahwa perubahan tutupan lahan dari hutan menurun sebesar 780,3 ha pada cagar alam di distrik Ludewa Tanzania Selatan disebabkan oleh kebakaran sebagai pendorong utama. Penelitian yang dilakukan pada cagar alam terbesar di Atwima Mponua Ghana menemukan kehilangan tutupan lahan 1,9 dan 1,4 kali lipat jumlah tutupan

hutan yang ada pada tahun 1987-2002 dan 2002-2017 karena kegiatan manusia (Appiah et al., 2021).

Penelitian yang dilakukan di hutan subtropis Cina menemukan perubahan tutupan lahan yang mengalami degradasi pada tahun 1998, 2008 dan 2018 sebesar 40936,77 ha menjadi 36.709,23 ha, lahan pertanian dari 4.220,46 menjadi 10.374,64 ha, dan kawasan permukiman dari 1.497,60 menjadi 5.395,12 ha (Mannan *et al.*, 2019). Zhou et al. (2021), mengatakan bahwa luas hutan berkurang 4 % karena perluasan daerah pertanian. Penelitian yang dilakukan hutan gugur di India menemukan bahwa kerusakan hutan karena kebakaran hutan gugur (82,3% dari total kejadian kebakaran), pada daun jarum (11,9%), semak belukar (3,0%), hutan campuran (2,7%) yang menghilangkan pohon 228 ind ha⁻¹ pada hutan yang memiliki kerapatan tinggi dan pada dominasi rendah 8,76 m²ha⁻¹ (Kumar et al., 2022)

Perubahan tutupan lahan dari semak belukar menjadi hutan kerapatan rendah atau dari hutan kerapatan rendah menjadi hutan kerapatan tinggi disebabkan karena adanya penanaman pada hutan produksi dan lindung, juga adanya regenerasi dan pertumbuhan secara alami dalam ekosistem yang berfungsi dengan baik pada hutan konservasi. Perubahan tutupan lahan dari hutan kerapatan tinggi menjadi hutan kerapatan rendah, atau hutan kerapatan rendah menjadi semak belukar dipengaruhi oleh faktor alam seperti alam angin kencang, petir, longsor. Faktor penyebab paling banyak menimbulkan kerusakan dalam kawasan hutan pada ketiga status hutan tersebut adalah aktivitas antropogenik masyarakat sekitar seperti kebakaran, perambahan, perladangan berpindah, penggembalaan ternak, penebangan liar, pembukaan lahan baru dan pengambilan kayu bakar dalam jumlah yang berlebihan.

Dampak penebangan yang dilakukan di hutan produksi adalah merusak tumbuhan lain yang masih berdiri juga memberikan ruang tumbuh bagi tanaman yang tinggal untuk bertumbuh dengan baik. Menurut Liu et al. (2021), dampak kerusakan hutan karena penebangan terhadap sifat fisik air tanah semakin meningkatnya keragaman pohon dan mempengaruhi peningkatan sifat fungsional *Soil Organic Carbon* (SOC). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini di hutan produksi bahwa dengan adanya penebangan yang dilakukan pada hutan tersebut maka muncul jenis baru yaitu jambu hutan. Penelitian sebelumnya pada tahun 2009 ketika jenis *E. urophylla* masih padat belum ditemukan tumbuhan lain yaitu jambu hutan. Penebangan yang memberikan ruang terbuka mendorong terbentuknya tanaman pioneer sehingga tumbuh tanaman baru yang semakin lama semakin meningkatkan proses biogeokimia melalui peningkatan laju dekomposisi serasah, ketersediaan nutrisi tanah dan retensi air tanah (Liu et al., 2021).

Perubahan tutupan lahan dari yang bervegetasi menjadi tidak bervegetasi memberikan dampak pada berkurangnya pohon dalam satuan luas, kesuburan tanah berkurang, dan turut mempengaruhi curah hujan yang tidak menentu (Acheampong et al., 2022). Pendapat lain disampaikan bahwa dengan mengetahui perubahan tutupan lahan secara berkala maka akan membantu mengidentifikasi strategi pengelolaan lahan yang lebih berkelanjutan termasuk arah kebijakan nantinya. Perubahan tutupan lahan sangat mempengaruhi struktur tegakan dan penyimpanan karbon pohon (Balima et al., 2021).

Penelitian mitigasi pada skala DAS memberikan pemahaman tentang hubungan yang kuat antara degradasi lahan dan krisis air khususnya di NTT. Informasi spesifik tentang sumber mata air biofisik di semi kering dengan ekosistem masih sangat terbatas. Diharapkan ada penelitian

untuk mendapatkan kinerja fungsi ekologi berdasarkan curah hujan, lahan kritis, dan tutupan lahan dari pengelolaan sumber daya air berbasis masyarakat model di Pulau Timor (Njurumana *et al.*, 2021). Pengetahuan tentang tren pertumbuhan atau perubahan struktural hutan pegunungan memungkinkan pengelolaan hutan untuk beradaptasi dan menstabilkan tegakan ini dan dengan demikian menghindari penurunan produktivitas dan jasa ekosistem hutan lainnya (Pach *et al.*, 2022). Praktek pengelolaan lahan terpadu untuk mengurangi degradasi lahan, meningkatkan kandungan bahan organik tanah, dan meningkatkan tutupan vegetasi (Ewunetu *et al.*, 2021).

Peranan tutupan lahan *E. urophylla* pada kawasan Mutis Timau memegang peranan yang sangat strategis karena posisinya pada daerah hulu, dengan dataran tinggi tentu akan memberikan jasa ekosistem yang tak ternilai. Selain manfaat hutan yang umum didapatkan, ada beberapa manfaat lebih dari kawasan Mutis Timau. Kawasan Mutis Timau merupakan sumber air bersih bagi sebagian besar penduduk di 3 kabupaten yaitu Kabupaten Kupang, TTS dan TTU. Sumber madu hutan yang sehat dan bersih karena lebah masih menghisap nektar dari bunga *E. urophylla* di hutan alam. Tempat rekreasi yang sangat indah karena menawarkan bentangan alam yang sangat unik dengan suhu yang sangat dingin. Selain itu, pada beberapa tahun terakhir kawasan ini merupakan sumber lumut yang dijual ke pengumpul dengan harga Rp 8000,00 kg⁻¹. Peranan pemerintah sangat penting untuk mempertahankan keberadaan kawasan Mutis Timau dari kerusakan-kerusakan sehingga tutupan lahan semakin bagus. Dengan demikian akan semakin berdampak positif bagi masyarakat sekitar dan mitigasi kehilangan karbon.

3.2.4 Degradasi Hutan Berdasarkan Tipe Kerusakan Antropogenik

Kerusakan hutan terjadi ditandai dengan terbukanya tutupan lahan yang sebelumnya berhutan menjadi tidak berhutan. Penyebabnya ada 2 yaitu kerusakan yang disebabkan oleh kejadian alam dan kerusakan yang disebabkan oleh karena aktivitas antropogenik manusia. Kerusakan yang disebabkan oleh kejadian alam diantaranya angin kencang, petir dan longsor. Kerusakan yang disebabkan oleh karena aktivitas manusia di dalam hutan adalah perambahan, perladangan atau perkebunan, kebakaran hutan, penggembalaan ternak, penebangan liar, pencurian kayu bakar dan persawahan. Tipe kerusakan hutan yang disebabkan oleh aktivitas manusia dan luas hutan rusak yang terdapat pada hutan produksi, hutan lindung dan hutan konservasi dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 3. 5. Luasan jenis-jenis kerusakan hutan (antropogenik) pada hutan produksi, hutan lindung dan hutan konservasi tahun 2022

Tipe hutan	Jenis kerusakan hutan antropogenik	Hutan yang mengalami kerusakan (ha)	Total (ha)	% dari total area
Produksi	Kebakaran	3,78	25,09	5,82
	Perambahan	0,99		
	Pencurian kayu bakar	4,29		
	Penebangan pohon/lahan terbuka	16,03		
Lindung	Perambahan	57,74	364,82	7,88

Tipe hutan	Jenis kerusakan hutan antropogenik	Hutan yang mengalami kerusakan (ha)	Total (ha)	% dari total area
Konservasi	Kebakaran	11,47	1.244,80	10,11
	Penebangan liar	10,34		
	Pencurian kayu bakar	34,01		
	Perkebunan/perladangan	149,53		
	Penggembalaan ternak	25,48		
	Lahan terbuka	76,24		
	Perambahan	111,50		
	Kebakaran	67,70		
	Penebangan liar	156,77		
	Pencurian kayu bakar	24,79		
	Perkebunan	424,97		
	Perladangan	32,96		
	Persawahan	7,92		
	Penggembalaan ternak	80,41		
	Lahan Terbuka	342,38		

Sumber : Pengolahan data tahun 2022

Tipe kerusakan yang terjadi di hutan produksi adalah perambahan, kebakaran, penebangan pohon dan pencurian kayu bakar. Tipe kerusakan yang terjadi di hutan lindung adalah perambahan, kebakaran, penebangan liar, pencurian kayu bakar, perladangan/perkebunan dan penggembalaan ternak. Tipe kerusakan yang terjadi di hutan konservasi adalah perambahan, kebakaran, pencurian kayu, penebangan liar dan kayu bakar, perladangan, perkebunan, penggembalaan ternak dan persawahan.

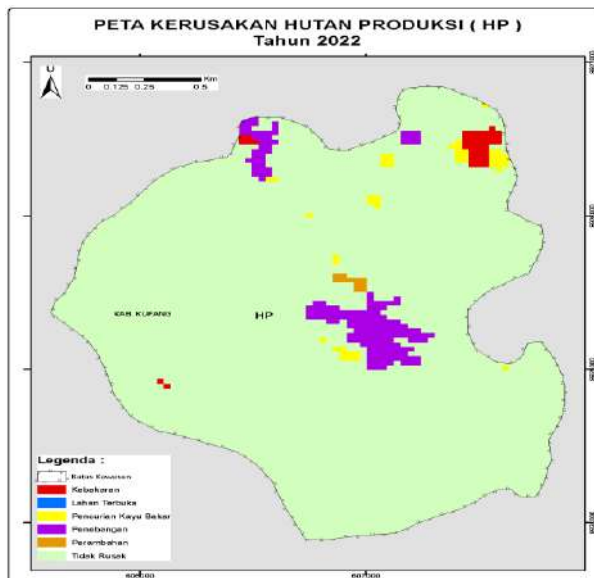
Tipe kerusakan pada hutan produksi, hutan lindung dan hutan konservasi pada dasarnya sama karena disebabkan oleh aktivitas manusia di dalam hutan. Kerusakan di hutan lindung dan hutan konservasi lebih kompleks dibandingkan dengan hutan produksi karena tekanan masyarakat terhadap hutan lindung dan konservasi lebih banyak. Hal ini, karena kawasan hutan berbatasan langsung dengan pemukiman penduduk sehingga intervensi masyarakat terhadap hutan lebih intensif. Pada hutan produksi kegiatan pertanian tidak ada karena sumber air susah. Penggembalaan ternak juga tidak ada karena masyarakat lebih memilih mencari sendiri pakan bagi ternak mereka. Di samping itu, ternak yang dimiliki oleh masyarakat desa Lelogama yang dekat dengan hutan produksi lebih sedikit dibandingkan dengan ternak yang dimiliki oleh masyarakat di sekitar hutan lindung dan hutan konservasi, sehingga masih mampu untuk mencari pakan.

Pencurian kayu pada kawasan hutan konservasi umumnya dilakukan dengan mengambil pohon-pohon yang tumbang karena tersambar petir. Selain itu, dari umur fisiknya sudah tua sehingga tumbang dengan sendiri. Faktor kebakaran juga yang mengakibatkan kayu teras terbakar sehingga lama-kelamaan pohon tumbang karena akarnya tidak mampu lagi menahan pohon untuk berdiri kokoh.

Lahan terbuka yang ditemukan di lapangan umumnya berupa lahan kosong (padang) yang tidak ditumbuhi pohon sama sekali. Lahan tersebut biasanya dimanfaatkan oleh para pendaki gunung Mutis sebagai tempat berkemah. Selain itu ada beberapa temuan bahwa lahan terbuka dimanfaatkan sebagai kandang ternak oleh masyarakat sekitar. Sebagian lahan terbuka juga berupa bebatuan terutama di kawasan hutan konservasi.

3.3.1.1. Kerusakan Hutan Produksi

Kerusakan hutan mengakibatkan dampak yang tak ternilai bagi keberlangsungan kehidupan masyarakat yang bermukim di sekitar hutan. Kerusakan hutan turut mempengaruhi dampak pemanasan global. Pada hutan produksi tipe kerusakan yang ada adalah perambahan, kebakaran, penebangan pohon, pencurian kayu bakar dan lahan terbuka. Peta kerusakan hutan yang terjadi pada hutan produksi tersaji pada Gambar 4.3:



Gambar 3. 3. Peta tipe kerusakan pada hutan produksi

Perambahan hutan merupakan pemanfaatan dan penguasaan hutan secara tidak sah karena tidak memiliki hak atas hutan tersebut. Kegiatan perambahan pada awalnya dilakukan petani dengan cara menebang dan membakar hutan. Bersamaan dengan perambahan juga ada kegiatan pencurian kayu bakar. Perambahan dilakukan oleh masyarakat setempat untuk mendapatkan lahan yang diusahakan untuk memenuhi kebutuhan keluarga dan kepentingan komersial.

Perambahan terhadap hutan alam *E. urophylla* mengakibatkan tutupan hutan berkurang sangat signifikan. Dengan adanya perambahan ini memberikan peluang tumbuhnya jenis baru seperti jambu hutan (*Syzygium jambos*). Perambahan yang dilakukan di hutan produksi karena kebutuhan lahan semakin meningkat seiring bertambahnya penduduk sedangkan lahan tidak bertambah. Praktek perambahan yang terjadi di hutan produksi tersaji pada Gambar 3.4.



Gambar 3. 4. Praktek perambahan yang terjadi di dalam hutan produksi jenis *E. urophylla*

Penelitian yang dilakukan di Cina menemukan bahwa perambahan yang terjadi sejak tahun 1954 dengan laju rata-rata 29 m dalam 1 dekade masing-masing bertambah 0,8 %/tahun (1954-1993), 2,4 %/tahun (1993-2015) dan 4,9 %/tahun (2015-2018). Lebih lanjut dikatakan bahwa perambahan tersebut mengakibatkan pemanasan meningkat sekaligus merupakan ancaman terhadap biodiversitas yang mengarah pada potensi hilangnya habitat dan spesies, terutama habitat yang paling rentan (Piccinelli et al., 2020). Sejalan dengan hasil penelitian Ugwuzor et al. (2022), menunjukkan bahwa perambahan mengakibatkan keanekaragaman spesies menjadi rendah.

Kerusakan lain yang terjadi di hutan produksi adalah kebakaran hutan. Kebakaran hutan yang terjadi karena adanya kegiatan penduduk yang mencari kuskus di malam hari dalam hutan yang sengaja membakar kayu untuk menghangatkan badan. Kebakaran secara keseluruhan mengurangi tutupan kanopi dan dedaunan mendorong terciptanya kondisi yang tidak menguntungkan untuk menahan air hujan. Kebakaran mengubah struktur hutan, yang pada muaranya akan mengubah fungsi hidrologis yakni kehilangan intersepsi. Menurut Su et al. (2022) kebakaran hutan memiliki dampak yang sangat signifikan pada proses partisi curah hujan karena mengurangi tingkat kehilangan intersepsi dari 22,3% menjadi 19,8% dan mengurangi laju aliran batang dari 6,6% menjadi 2,3% yang akan memberikan respon terhadap perubahan iklim. Penelitian yang dilakukan di pegunungan Himalaya India menemukan bahwa peningkatan frekuensi kebakaran menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati hutan sebaliknya akan terjadi peningkatan spesies tertentu terutama yang tahan api (Bargali et al., 2022).

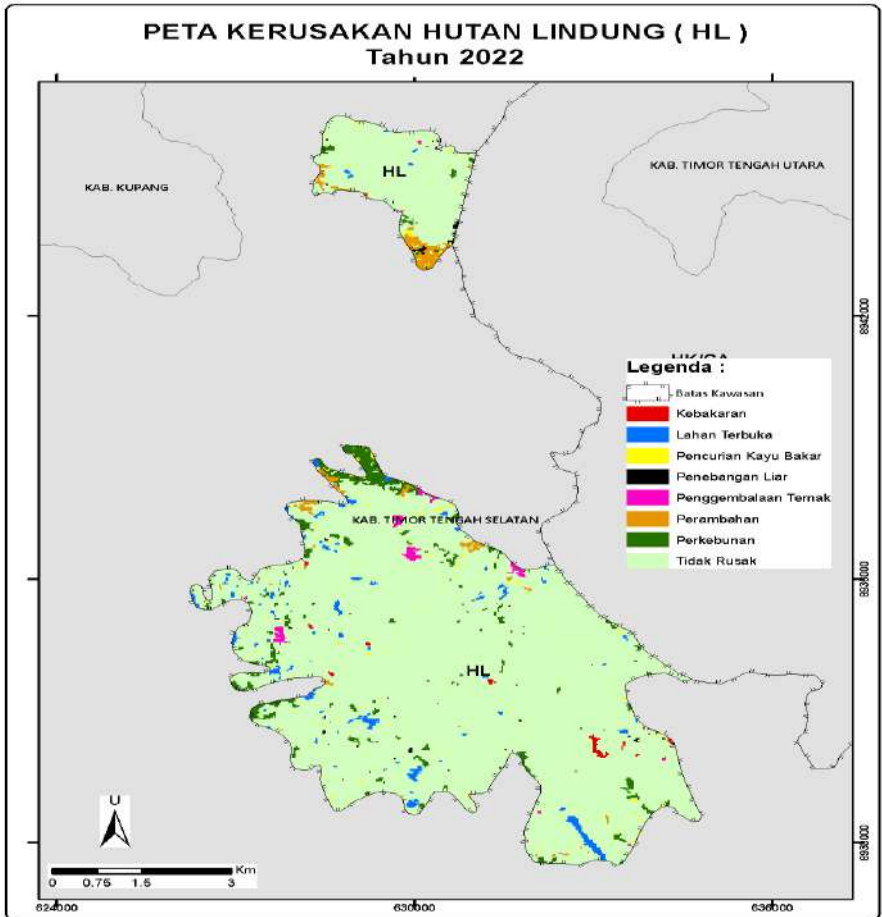
Penurunan keanekaragaman dan kepadatan spesies disebabkan regenerasi yang buruk karena terbakar terutama pada fase anakan. Penelitian lain menemukan bahwa kebakaran hutan menyebabkan terjadinya emisi karbon tahunan sebesar 193 juta metrik ton (Mt) C (Romanov *et al.*, 2022). Kebakaran menyebabkan terbakarnya anakan yang baru tumbuh sehingga berdampak pada regenerasi yang rendah. Penelitian kami menemukan bahwa jumlah anakan dan pancang semakin berkurang dari tahun 2009-2022 pada hutan produksi.

Penebangan pohon yang terjadi di hutan produksi umumnya digunakan untuk pembangunan fasilitas umum misalnya pembangunan gereja, sekolah, pasar dan kantor-kantor yang ada di Kecamatan Amfoang Selatan. Pohon-pohon yang kecil umumnya ditebang untuk pengambilan kayu bakar. Penebangan kayu ini sebagian besar di jual ke Kota Kupang sebagai bahan bakar. Kayu jenis ini sangat diminati sebagai bahan bakar karena arangnya yang tahan lama dan cepat terbakar karena mengandung minyak atsiri. Penebangan yang terkendali dapat mendorong tumbuhnya spesies dengan cepat sehingga menghasilkan kayu yang dapat dipasarkan secara komersial (Bedrij *et al.*, 2022), sedangkan untuk penebangan yang berat membutuhkan waktu > 30 - 40 tahun untuk pemulihan. Kerusakan hutan Miombo di Provinsi Huambo selama 19 tahun terakhir seluas 359,130 ha kebanyakan disebabkan oleh pencurian kayu bakar (Miapia *et al.*, 2021).

3.3.1.2. Kerusakan Hutan Lindung

Tipe kerusakan hutan yang terjadi di hutan lindung adalah perambahan, perladangan atau perkebunan, kebakaran, longsor, penggembalaan ternak, pohon tumbang karena petir dan sudah tua, penebangan liar dan pencurian kayu bakar. Peta kerusakan hutan yang terjadi pada hutan lindung tersaji pada

Gambar 3.5. Perambahan di hutan lindung karena semakin berkurangnya lahan pertanian dan perkebunan penduduk sehingga merambah masuk dalam kawasan hutan. Perambahan ini dilakukan dengan sengaja karena keterbatasan lahan, sedangkan ada juga perambahan yang dilakukan terhadap kawasan hutan karena adanya proyek penanaman tanaman reboisasi *E. urophylla* pada tahun 1992 yang dilakukan oleh dinas kehutanan dengan melibatkan masyarakat, sehingga dengan alasan tersebut masyarakat tetap berkebun dalam hutan sambil memelihara ternak. Seiring dengan berjalannya waktu masyarakat sudah merasa nyaman dengan kondisi tersebut. Dampak perambahan secara signifikan mempengaruhi komunitas mikroba tanah tergantung pada tingkat keparahan perambahan dan dampak perambahan tanaman pada keanekaragaman mikroba tanah dan komposisi komunitas (Ni *et al.*, 2022).

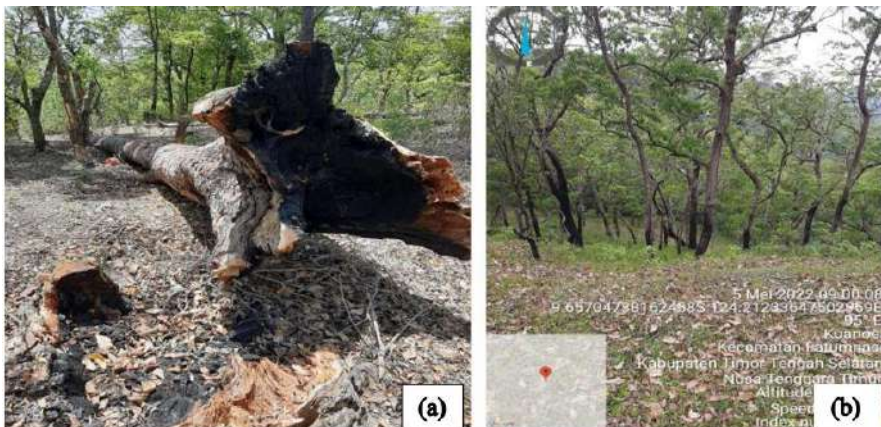


Gambar 3. 5. Peta kerusakan pada hutan lindung

Penelitian mengenai perambahan terhadap hutan lindung di Ghana menemukan bahwa 9,29% perambahan hutan lindung yang beralih fungsi menjadi tanaman kakao (Ashiagbor *et al.*, 2022). Pentingnya regulasi di hutan lindung untuk mempertahankan fungsinya sedangkan untuk memenuhi kebutuhan di lahan pertanian perlu menerapkan pola intensifikasi berbasis ramah lingkungan. Prinsipnya adalah bagaimana mengelola hutan lindung khususnya pada blok pemanfaatan sehingga bisa memenuhi kebutuhan masyarakat

tanpa mengabaikan layanan ekologi sebagai filosofi yang tak tergantikan daripada hutan.

Kebakaran hutan di hutan lindung terjadi karena pembersihan dan pembukaan lahan pertanian dengan cara membakar pada lahan milik petani. Pembersihan ini dilakukan sekitar bulan September-Oktober pada puncak musim kemarau di NTT. Kurangnya tenaga di lapangan sebagai pengawas sehingga ketika angin bertiup api semakin membakar masuk ke dalam hutan lindung. Di lain pihak tenaga yang terbatas dan adanya serasah di lantai hutan yang banyak dan sudah kering maka api semakin membesar sehingga sulit dipadamkan. Gambar 4.6 menunjukkan kebakaran yang terjadi di hutan lindung. Kebakaran yang terjadi umumnya membakar pohon yang sudah tua sampai ke bagian kayu teras yang lama kelamaan menyebabkan pohon tersebut tumbang (Gambar 4.6a).



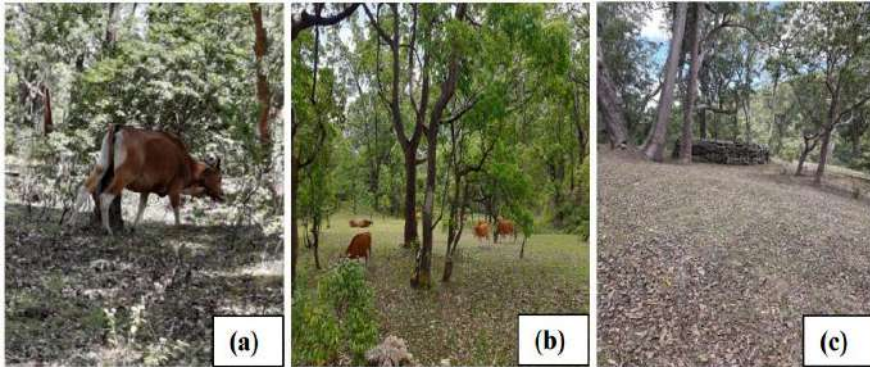
Gambar 3. 6. Kebakaran hutan di hutan lindung (a) api membakar sampai kayu teras (b) api membakar kawasan hutan

Kebakaran menyebabkan terjadinya perubahan tutupan vegetasi dan mendorong terjadinya suksesi dalam jangka waktu lama sehingga memicu pemanasan iklim (Raymundo *et al.*,

2022). Vegetasi asli akan tergantikan oleh tanaman pioner apabila kalah dalam bersaing.

Perladangan dan perkebunan di dalam kawasan hutan umumnya dilakukan dengan pembukaan lahan sistem tebas bakar. Sebagian besar masyarakat menerapkan perladangan di kawasan hutan lindung dengan sistem perladangan berpindah. Hal ini dilakukan karena kawasan hutan yang telah dikelola selama dua (2) atau tiga (3) tahun produktivitas lahan mengalami penurunan, sehingga mendorong masyarakat untuk pindah ke tempat lain dengan membuka lahan baru yang masih subur. Praktek-praktek perladangan berpindah dilakukan secara turun temurun terutama pada kawasan pinggir hutan.

Pengembalaan ternak di dalam kawasan hutan lindung merupakan hal sudah biasa bagi penduduk setempat. Praktek pengembalaan ternak ini dilakukan sudah turun temurun dari nenek moyang mereka. Ternak seperti sapi, kuda dan kerbau dilepasliarkan dalam kawasan hutan lindung untuk mendapatkan pakan karena keterbatasan pakan di lahan masyarakat. Lahan masyarakat lebih dimanfaatkan untuk menanam tanaman pangan untuk memenuhi kebutuhan keluarga. Ternak berada sepanjang hari di kawasan hutan dan sesekali pemiliknya datang mengontrol untuk memberikan minum. Pemberian cap pada punggung ternak untuk memberikan tanda kepemilikan ternak. Praktek pengembalaan ternak di kawasan hutan dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 3. 7. Praktek penggembalaan ternak di kawasan hutan (a) hutan lindung (b) hutan konservasi dan (c) kandang ternak di dalam hutan

Kehadiran ternak dalam kawasan hutan lindung sangat mengganggu vegetasi *E. urophylla* terutama pada tingkat semai, selain itu menghambat pertumbuhan biji karena diinjak-injak oleh ternak. Selain itu, pada fase pancang dirusak sampai ranting dan cabang patah. Hal ini tentu sangat mengganggu pertumbuhan tegakan secara optimal. Fenomena ini turut mempengaruhi rendahnya regenerasi *E. urophylla* di alam baik pada hutan lindung maupun pada hutan konservasi. Hasil penelitian ini menemukan bahwa dalam pengamatan plot sampel di lapangan fase semai sangat sedikit ditemukan di lapangan. Jika hal ini tidak dipikirkan oleh pengambil kebijakan dari sekarang maka tidaklah menjadi suatu wacana kalau hutan alam *E. urophylla* di tanah Timor akan habis. Hal ini pada gilirannya dapat mempengaruhi komposisi spesies dan sifat fungsional spesies tersebut namun di sisi lain bisa meningkatkan nutrisi hutan dari dekomposisi tinja ternak (Maza-Villalobos *et al.*, 2022). Penggembalaan ternak memperlambat ekspansi hutan yang sangat berdampak pada semak belukar dan padang rumput (Sühs *et al.*, 2021).



Gambar 3. 8. Pemanfaatan kayu bakar (a) pencurian kayu bakar pada tegakan masih hidup (b) pengumpulan kayu bakar (c) pengangkutan kayu bakar

Pencurian kayu log dan kayu bakar di hutan lindung sangat tinggi (Gambar 3.8). Tingginya pengambilan kayu bakar dan kayu log pada hutan lindung karena tingginya ketergantungan masyarakat terhadap hutan. Terdapat 13 desa yang berbatasan langsung dengan hutan ini. Setiap hari penduduk di sekitar hutan lindung mengambil kayu bakar di dalam hutan baik dahan-dahan kering maupun kayu tumbang untuk keperluan rumah tangga dan sebagian dijual keluar kecamatan. Hasil pengamatan di lapangan bahwa pengambilan kayu bakar juga dilakukan pada fase pancang dan tiang yang masih kecil dan masih bisa dijangkau.

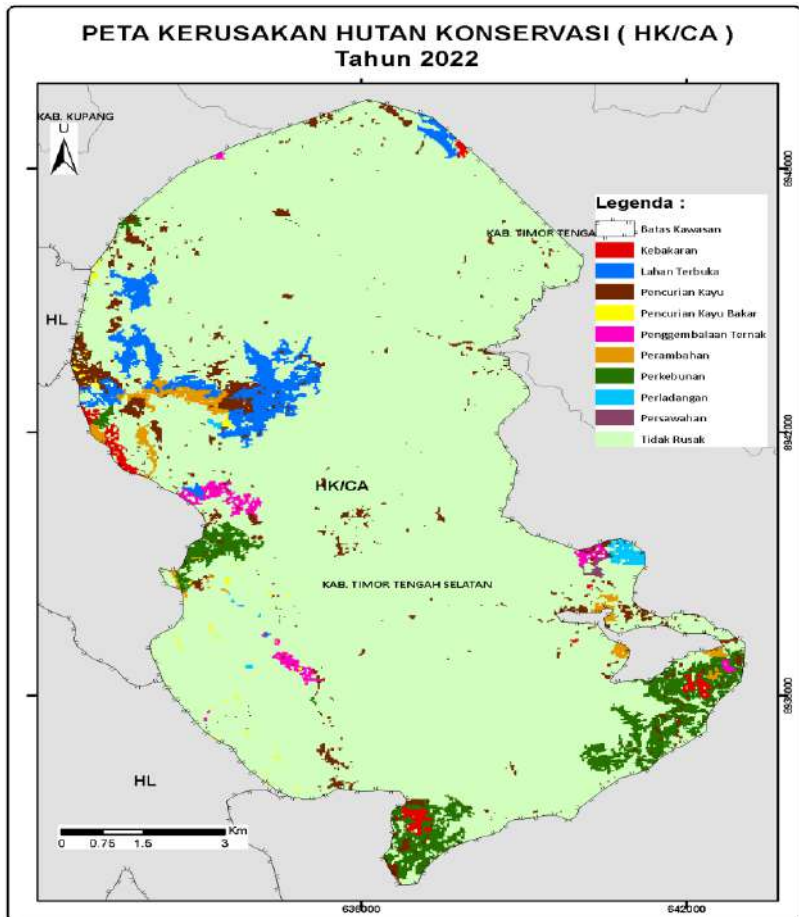
Pemanfaatan kayu di kawasan hutan lindung *E. urophylla* diperbolehkan untuk keperluan pembangunan fasilitas umum seperti gereja, kantor desa, sekolah, taman kanak-kanak dan pembangunan resort kehutanan yang disesuaikan dengan kebutuhan. Sebelum pengambilan kayu dalam kawasan hutan lindung harus dilampirkan dengan pengurusan ijin pemanfaatan kayu di desa setempat dan KPH TTS. Pengambilan kayu oleh masyarakat masih ditemui untuk keperluan pribadi walaupun

tidak dalam jumlah yang banyak. Pengangkutan kayu ke luar Kecamatan Fatumnasi menggunakan motor, pick up dan dump truck. Kayu bakar dipasarkan ke Kota Soe dan Kota Kupang, dan sangat diminati masyarakat karena arangnya yang tahan lama. Tindakan yang tegas sangat penting bagi para pelaku pencurian kayu dalam hutan, pengawasan dan kriminalisasi untuk menjaga dan mempertahankan hutan dari kehilangan kayu yang lebih banyak lagi (Vasile dan Iordăchescu, 2022). Untuk menghindari pencurian kayu semakin marak, maka diperlukan jenis lain sebagai pengganti antara lain dengan menanam lamtoro. Masyarakat perlu diedukasi pentingnya keberadaan hutan alam *E. urophylla* dalam mitigasi kehilangan karbon.

3.3.1.3. Kerusakan Hutan Konservasi

Tipe kerusakan yang terjadi di hutan lindung tidak berbeda jauh dengan tipe kerusakan yang terjadi di hutan konservasi. Hal ini karena letaknya yang bersebelahan langsung dengan hutan lindung. Tekanan penduduk terhadap hutan konservasi sama yakni masyarakat suku Timor dengan budaya yang sama, sehingga tekanan terhadap hutan konservasi pun tinggi. Amanah Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1990 Tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya pada pasal 13 ayat 1 dan 3. Ayat 1 menyatakan bahwa kawasan pengawetan jenis tumbuhan dan satwa di dalam kawasan suaka alam dilakukan dengan membiarkan agar populasi semua jenis tumbuhan dan satwa tetap seimbang menurut proses alami di habitatnya. Ayat 3 menyatakan bahwa pengawetan jenis tumbuhan dan satwa di luar kawasan suaka alam dilakukan dengan menjaga dan mengembangbiakkan jenis tumbuhan dan satwa untuk menghindari bahaya kepunahan. Peranan hutan konservasi khususnya pada kawasan cagar alam Mutis Timau sebagai kawasan pengawetan tumbuhan *E. urophylla* dan satwa di dalamnya memainkan peranan strategis

di pulau Timor. Kawasan cagar alam Mutis Timau diperuntukkan untuk kepentingan penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan, pendidikan, dan kegiatan lainnya yang menunjang budidaya yang melarang setiap orang melakukan kegiatan yang dapat mengakibatkan perubahan terhadap keutuhan cagar alam. Perubahan tutupan lahan di cagar alam Mutis Timau mengindikasikan bahwa ada kegiatan yang menimbulkan kerusakan. Peta kerusakan hutan yang terjadi di hutan konservasi tersaji pada Gambar 4.9.

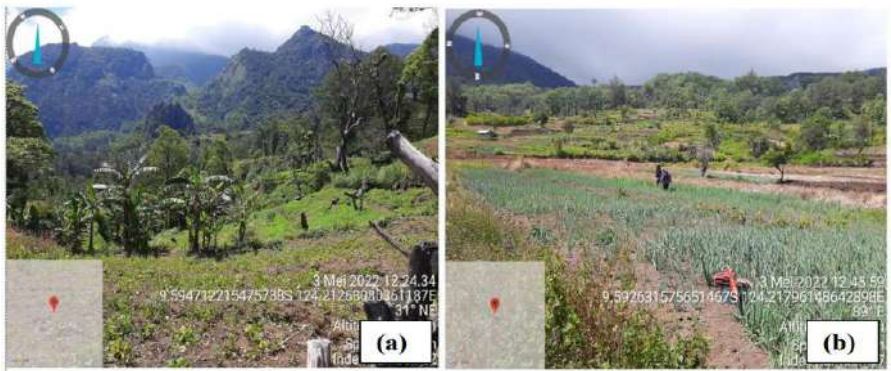


Gambar 3. 9. Peta tipe kerusakan pada hutan konservasi

Tipe kerusakan yang terjadi di hutan konservasi adalah perambahan, perladangan, kebakaran, penggembalaan ternak, pohon tumbang karena petir dan sudah tua, penebangan liar dan kayu bakar. Perambahan yang terjadi di hutan konservasi berlangsung sudah sangat lama oleh penduduk yang bermukim di sekitar kawasan hutan konservasi. Perambahan terbanyak ditemukan pada Desa Nenas dan Desa Bonleu. Adanya kerusakan hutan konservasi disebabkan karena perambahan, perladangan atau pertanian yang terdapat di Desa Nenas berawal dari masyarakat yang sudah terlanjur beraktfitas di lokasi tersebut dan bermukim di sekitar pinggir hutan. Kasus tersebut sudah diselesaikan pada tingkat pemerintah, tokoh adat dan tokoh masyarakat dan kesepakatannya adalah kawasan tersebut dikeluarkan dari hutan konservasi. Dengan polemik yang terjadi antara dinas kehutanan dan masyarakat tersebut maka tahun 2013 dari Balai Pemantapan Kawasan Hutan (BPKH) melakukan tata batas fungsi kawasan. Sampai saat ini pal batas sudah terpasang namun surat keputusan belum dikeluarkan oleh pihak Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Berdasarkan surat yang dikeluarkan KLHK Keputusan Dirjen Planologi Kehutanan Nomor SK.3911/Menhut-VII/KUH/2014 Tanggal 14 Mei 2014 Peta SK 3911 lokasi tersebut masih berada dalam kawasan konservasi dengan status sekarang cagar alam. Perambahan yang terjadi di Desa Bonleu karena kasus klaim kepemilikan hutan adat. Masyarakat mengklaim sebagian kawasan hutan konservasi di Desa Bonleu sebagai hutan adat. Kawasan hutan di Desa Bonleu yang diklaim sebagai hutan adat berubah menjadi perladangan, perkebunan, pertanian dan persawahan.

Perladangan dan perkebunan yang terjadi di hutan konservasi paling banyak terjadi di desa pinggiran hutan konservasi karena adanya faktor keterbatasan lahan. Selain itu

alasan penduduk melakukan perladangan karena tingkat kesuburan tanah pada hutan masih tinggi. Umumnya masyarakat membuka ladang dengan menanam tanaman pangan seperti jeruk, umbi-umbian, jagung dan tanaman sayur-sayuran seperti wortel, kentang, bawang merah, bawang putih dan bawang bombay. Selain ladang ada juga sawah tadah hujan di desa Bonleu yang terdapat dalam kawasan hutan konservasi. Praktek perladangan dan perkebunan pada hutan konservasi tersaji pada Gambar 3.10.



Gambar 3. 10. Praktek (a) perladangan (b) perkebunan di kawasan hutan konservasi

Praktek perkebunan kakao di hutan konservasi tipe savana di Ghana menemukan bahwa lebih dipengaruhi oleh faktor ekonomi untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga dan persepsi penduduk terhadap kekeringan, sehingga termotivasi untuk menanam kakao untuk menekan resiko kekeringan (Hashmiu et al., 2022). Kebakaran di hutan konservasi dipicu pembukaan lahan pertanian dengan cara membakar sehingga menjalar masuk ke dalam kawasan hutan. Ditemukan juga masyarakat yang tidak bertanggung jawab dengan sengaja membuang puntung rokok pada serasah yang menumpuk kering di lantai hutan sehingga membakar hutan. Dampak yang dilihat langsung di lapangan adalah hilangnya tumbuhan bahwa seperti

semak, herba dan rumput. Sejalan dengan penelitian hutan padang rumput di Australia menemukan bahwa burung dengan spesies Gondwanan endemik berkurang dalam 3 dekade karena hilangnya habitat yang sangat dipengaruhi sejarah kebakaran (Stone et al., 2022).

Tipe kerusakan hutan konservasi karena penggembalaan ternak umumnya disebabkan oleh kebiasaan masyarakat untuk melepasliarkan ternak dalam kawasan hutan. Alasannya karena jumlah ternak banyak sehingga masyarakat tidak mempunyai lahan untuk mengurus ternak. Selain itu dengan melepasliarkan ternak dalam kawasan hutan tidak memerlukan tenaga untuk mencari pakan karena memakan rumput atau tanaman lain yang tersedia hutan alam. Penelitian (Tofastrud *et al.*, 2020), mengatakan bahwa pertambahan berat badan sapi berhubungan positif dengan ketersediaan pakan dalam hutan. Lebih lanjut dikemukakan bahwa berat badan sapi bertambah rata-rata 24 kg bagi sapi dewasa dan berat anak sapi muda yang lahir di musim semi 92 kg sedangkan anak sapi muda yang lahir di musim gugur 65 kg.

Ketersediaan pakan dalam hutan membantu ternak untuk memenuhi kebutuhan harian. Ternak masyarakat yang dijumpai dalam kawasan hutan lindung adalah sapi, kuda dan kerbau. Kotoran ternak yang sudah terdekomposisi bisa menjadi sumber nutrisi bagi tumbuhan terutama bagi anakan *E. urophylla* namun, menurut pengamatan di lapangan dampak kerusakannya adalah terinjaknya anakan *E. urophylla* dan biji-biji bakal individu baru sehingga regenerasinya sangat sedikit. Faktor lain adalah kurangnya tanaman bawah yang berfungsi untuk menahan aliran permukaan ketika musim hujan sehingga pada saat hujan biji-bijian *E. urophylla* terbawah oleh air hujan. Menurut Souza et al. (2020), penggembalaan yang berlebihan cenderung meningkatkan degradasi padang rumput dalam

ekosistem hutan, di sisi lain ketersediaan pakan dalam hutan juga dipengaruhi karena dalam hutan neraca air tanah cenderung masih stabil pada musim kemarau sehingga vegetasi dan biomassa masih tersedia.

Pencurian kayu log (kayu pertukangan) dijumpai pada beberapa titik di hutan konservasi sedangkan pencurian kayu bakar dijumpai setiap hari di hutan konservasi terutama pada kawasan yang bersebelahan langsung dengan pemukiman penduduk. Praktek kegiatan pencurian kayu log dan kayu bakar tersaji pada Gambar 3.11.



Gambar 3. 11. Praktek (a) pengambilan kayu log dan (b) kayu bakar dalam kawasan hutan *E. urophylla*

Masyarakat di sekitar hutan menggantungkan kebutuhan kayu bakarnya pada hutan lindung dan hutan konservasi jenis *E. urophylla*. Praktek pencurian kayu bakar dengan menebang anakan *E. urophylla* memperparah kerusakan hutan dan menambah polemik rendahnya regenerasi hutan ini ke depan. Pengambilan kayu bakar log dan kayu bakar dalam kawasan hutan konservasi tidak diperbolehkan. Akses jalan dalam hutan konservasi semakin menambah praktek pengambilan kayu dalam hutan karena langsung diangkut dengan menggunakan motor, pick up dan dump truck. Untuk mengurangi praktik

pencurian kayu log dan kayu bakar maka dibutuhkan kerjasama di antara para pemangku kepentingan. Kerjasama para pihak secara langsung maupun tidak langsung dalam mengatasi kemiskinan dan memikirkan pengganti bahan bakar jenis lain sebagai pasokan kayu bakar yang berkelanjutan (Abdu *et al.*, 2022). Gangguan antropogenik (pembalakan liar, pertanian, pertambangan) berkontribusi pada berkurangnya keanekaragaman jenis pohon, kerapatan tegakan dan hilangnya pohon dewasa, yang berarti berkurangnya kemampuan hutan untuk menyimpan karbon (Bentsi-enchill *et al.*, 2022).

3.3 Penutup

Berdasarkan penjelasan di atas, kesimpulan dari bab ini adalah degradasi hutan yang terjadi pada hutan produksi disebabkan oleh adanya aktivitas perambahan, kebakaran, penebangan liar dan pencurian kayu bakar dengan luasan 25,09 ha atau 5,83 % dari luas hutan produksi . Kerusakan yang terjadi pada hutan lindung disebabkan karena adanya aktivitas perambahan, kebakaran, penebangan liar, perladangan, penggembalaan ternak, pencurian kayu bakar dan lahan terbuka dengan luasan 364,82 ha atau 7,88 % dari luas total hutan lindung. Kerusakan yang terjadi pada hutan konservasi karena adanya aktivitas perambahan, perladangan, perkebunan, persawahan, kebakaran, penggembalaan ternak, penebangan liar, pencurian kayu bakar dan lahan terbuka dengan luasan 1.244,8 ha atau 10,11 % dari luas total hutan konservasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdu, N. *et al.* (2022) 'Illegal firewood collection in Tasmania: Approaching the problem with the Institutional Analysis and Development (IAD) framework', *Land Use Policy*, 118(September 2021), p. 106130. doi: 10.1016/j.landusepol.2022.106130.
- Acheampong, O. J. *et al.* (2022) 'Livelihood, carbon and spatiotemporal land-use land-cover change in the Yenku forest reserve of Ghana, 2000–2020', *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 112(March), p. 102938. doi: 10.1016/j.jag.2022.102938.
- Amponsah, A. *et al.* (2022) 'Land cover changes of Atewa Range Forest Reserve, a biodiversity hotspot in Ghana', *Trees, Forests and People*, 9(March), p. 100301. doi: 10.1016/j.tfp.2022.100301.
- Andrew, S. M., Nyanghura, Q. M. and Mombo, F. M. (2023) 'Land cover change and utilization of village land forest reserves in Ludewa, Tanzania', *Environmental Challenges*, 10(September 2022), p. 100668. doi: 10.1016/j.envc.2022.100668.
- Ashiagbor, G. *et al.* (2022) 'Monitoring cocoa-driven deforestation : The contexts of encroachment and land use policy implications for deforestation free cocoa supply chains in Ghana', *Applied Geography*, 147(July 2021), p. 102788. doi: 10.1016/j.apgeog.2022.102788.
- Balima, L. H. *et al.* (2021) 'Influence of climate and forest attributes on aboveground carbon storage in Burkina Faso, West Africa', *Environmental Challenges*, 4(April), p. 100123. doi: 10.1016/j.envc.2021.100123.
- Bargali, H. *et al.* (2022) 'Impact of forest fire frequency on floristic diversity in the forests of Uttarakhand, western Himalaya', *Trees, Forests and People*, 9(March), p. 100300. doi: 10.1016/j.tfp.2022.100300.

- Bedrij, N. A. *et al.* (2022) 'Selective logging of a subtropical forest: Long-term impacts on stand structure, timber volumes, and biomass stocks', *Forest Ecology and Management*, 518(April), p. 120290. doi: 10.1016/j.foreco.2022.120290.
- Bentsi-enchill, F. *et al.* (2022) 'Impact of anthropogenic disturbance on tree species diversity, vegetation structure and carbon storage potential in an upland evergreen forest of Ghana, West Africa', *Trees, Forests and People*, p. 100238. doi: 10.1016/j.tfp.2022.100238.
- Breiman, L. (2001) 'Random forest', *Machine Learning*, 12343 LNCS, pp. 503–515. doi: 10.1007/978-3-030-62008-0_35.
- Chowdhury, M. S. and Hafsa, B. (2022) 'approachMulti-decadal land cover change analysis over Sundarbans Mangrove Forest of Bangladesh: A GIS and remote sensing based', *Global Ecology and Conservation*, 37(May), p. e02151. doi: 10.1016/j.gecco.2022.e02151.
- Dako, F. X. (2020) *Pengelolaan Hutan Lindung Mutis Timau dengan Prinsip Kehutanan Sosial*.
- Danoedoro, P. (1996) *Pengolahan Citra digital Teori dan Aplikasinya dalam Bidang Penginderaan Jauh*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada.
- Engelstad, Peder., Carver, D. (2021) *Module 5: Raster Pre-Processing. Ecology and Natural Resource Ecology Laboratory at CSU*. Available at: <https://ecology.colostate.edu/google-earth-engine/>.
- Ewunetu, A. *et al.* (2021) 'Mapping and quantifying comprehensive land degradation status using spatial multicriteria evaluation technique in the headwaters area of upper blue Nile river', *Sustainability (Switzerland)*, 13(4), pp. 1–28. doi: 10.3390/su13042244.
- Forestriko Hernandea Frieda, H. (2016) 'Pemanfaatan Citra Landsat 8 untuk Estimasi Stok Karbon Hutan Mangrove di Kawasan Segara Anakan Cilacap Jawa Tengah', p. 117.

- Hashmiu, I., Agbenyega, O. and Dawoe, E. (2022) 'Determinants of crop choice decisions under risk: A case study on the revival of cocoa farming in the Forest-Savanna transition zone of Ghana', *Land Use Policy*, 114(October 2019), p. 105958. doi: 10.1016/j.landusepol.2021.105958.
- HCS Approach Steering Groups Eds. (2015) 'The HCS Approach Toolkit Version 1.0', *HCS Approach Steering Groups*, (March).
- Hongwei Zeng *et al.* (2020) 'A Synthesizing Land-cover Classification Method Based on Google Earth Engine: A Case Study in Nzhelele and Levhuvu Catchments, South Africa', *Chinese Geographical Science*, 30(3), pp. 397–409. doi: 10.1007/s11769-020-1119-y.
- Juniyanti, L. *et al.* (2020) 'Perubahan Penggunaan dan Tutupan Lahan, Serta Faktor Penyebabnya di Pulau Bengkalis, Provinsi Riau (periode 1990-2019)', *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(3), pp. 419–435. doi: 10.29244/jpsl.10.3.419-435.
- Kumar, KC Ram , Dambar Bahadur Mahato, N. K. Y. and P. P. (2020) 'Mapping Deforestation and Forest Degradation Using CLASlite Approach (A Case Study from Maya Devi Collaborative Forest of Kapilvastu District, Nepal)', *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 23(5). doi: 10.19080/ijesnr.2020.23.556122.
- Kumar Gajendra , Amit Kumar, Purabi Saikia, P.S. Roy, M. L. K. (2022) 'Ecological impacts of forest fire on composition and structure of tropical deciduous forests of central India', *Journal of Marine Systems*, p. 103608. doi: 10.1016/j.pce.2022.103240.
- Liu, S. *et al.* (2021) 'Anthropogenic disturbances shape soil capillary and saturated water retention indirectly via plant functional traits and soil organic carbon in temperate forests', *Forests*, 12(11). doi: 10.3390/f12111588.

- Mannan, A. *et al.* (2019) 'Application of land-use/land cover changes in monitoring and projecting forest biomass carbon loss in Pakistan', *Global Ecology and Conservation*, 17(35), p. e00535. doi: 10.1016/j.gecco.2019.e00535.
- Maza-Villalobos, S. *et al.* (2022) 'Plant functional traits under cattle grazing and fallow age scenarios in a tropical dry forest of Northwestern Mexico', *Basic and Applied Ecology*, 64, pp. 30–44. doi: 10.1016/j.baae.2022.06.006.
- Miapia, L. M. *et al.* (2021) 'Deforestation and biomass production in miombo forest in huambo (Angola): A balance between local and global needs', *Forests*, 12(11), pp. 1–14. doi: 10.3390/f12111557.
- Navarette *et al.* (2023) 'Science of the Total Environment Anthropogenic degradation alter surface soil biogeochemical pools and microbial communities in an Andean temperate forest', *Science of the Total Environment*, 854(September 2022), p. 158508. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.158508.
- Ni, B. *et al.* (2022) 'Deyeuxia angustifolia Kom. encroachment changes soil physicochemical properties and microbial community in the alpine tundra under climate change', *Science of the Total Environment*, 813, p. 152615. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.152615.
- Njurumana, G. N. *et al.* (2021) 'The livelihood challenge of forest honey bee farmers amidst COVID-19 pandemic in Mutis, Indonesia', *Forest and Society*, 5(2), pp. 526–542. doi: 10.24259/fs.v5i2.11556.
- Nomura, K. and Mitchard, E. T. A. (2018) 'More than meets the eye: Using Sentinel-2 to map small plantations in complex forest landscapes', *Remote Sensing*, 10(11). doi: 10.3390/rs10111693.
- Pach, M. *et al.* (2022) *Climate-Smart Silviculture in Mountain Regions*. doi: 10.1007/978-3-030-80767-2_8.

- Pinagé Rangel, E. *et al.* (2022) 'Forest structure and solar-induced fluorescence across intact and degraded forests in the Amazon', *Remote Sensing of Environment*, 274(May 2021). doi: 10.1016/j.rse.2022.112998.
- Quang An Vo *et al.* (2022) 'Detection of degraded forests in Guinea, West Africa, based on Sentinel-2 time series by inclusion of moisture-related spectral indices and neighbourhood effect', *Remote Sensing of Environment*, 281(September), p. 113230. doi: 10.1016/j.rse.2022.113230.
- Raymundo, D. *et al.* (2022) 'Assessing woody plant encroachment by comparing adult and juvenile tree components in a Brazilian savanna', *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 291(July 2021), p. 152060. doi: 10.1016/j.flora.2022.152060.
- Rodman, K. C. *et al.* (2022) 'Patterns and drivers of recent land cover change on two trailing-edge forest landscapes', *Forest Ecology and Management*, 521(June). doi: 10.1016/j.foreco.2022.120449.
- Rodriguez Luiz Carlos Estraviz (2006) 'Analysing patterns of forest cover change and related land uses in the Tano-Offin forest reserve in Ghana: Implications for forest policy and land management', *Trees, Forests and People*, 5, p. 100105. doi: 10.1016/j.tfp.2021.100105.
- Romanov, A. A. *et al.* (2022) 'Reassessment of carbon emissions from fires and a new estimate of net carbon uptake in Russian forests in 2001–2021', *Science of the Total Environment*, 846(April), p. 157322. doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.157322.
- Santyasa, I. W. (2005) 'Model Pembelajaran inovatif dalam implementasi kurikulum berbasis kompetensi', *Makalah disampaikan Dalam Penataran Guru-Guru SMP, SMA, dan SMK se Kabupaten Jembrana* Juni–Juli.

- Souza, R. *et al.* (2020) 'Optimal management of cattle grazing in a seasonally dry tropical forest ecosystem under rainfall fluctuations', *Journal of Hydrology*, 588(May), p. 125102. doi: 10.1016/j.jhydrol.2020.125102.
- Stone, Z. L., Maron, M. and Tasker, E. (2022) 'Reduced fire frequency over three decades hastens loss of the grassy forest habitat of an endangered songbird', *Biological Conservation*, 270(August 2021). doi: 10.1016/j.biocon.2022.109570.
- Su, L. *et al.* (2022) 'Effects of fire on interception loss in a coniferous and broadleaved mixed forest', *Journal of Hydrology*, 613(PA), p. 128425. doi: 10.1016/j.jhydrol.2022.128425.
- Sühs, R. B. *et al.* (2021) 'The influence of fire and cattle grazing on Araucaria population structure in forest-grasslands mosaics', *Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, 281(October 2020), p. 151853. doi: 10.1016/j.flora.2021.151853.
- Tofastrud, M. *et al.* (2020) 'Weight gain of free-ranging beef cattle grazing in the boreal forest of south-eastern Norway', *Livestock Science*, 233(January), p. 103955. doi: 10.1016/j.livsci.2020.103955.
- Tsai, Y. H. *et al.* (2018) 'Mapping vegetation and land use types in Fanjingshan National Nature Reserve using google earth engine', *Remote Sensing*, 10(6). doi: 10.3390/rs10060927.
- Vasile, M. and Iordăchescu, G. (2022) 'Forest crisis narratives: Illegal logging, datafication and the conservation frontier in the Romanian Carpathian Mountains', *Political Geography*, 96(September 2020). doi: 10.1016/j.polgeo.2022.102600.

- Widyantara, A. P. and Solihuddin, T. (2020) 'Pemetaan Perubahan Luasan Lahan Mangrove Di Pesisir Probolinggo Menggunakan Citra Satelit (Mangrove Land Change Mapping At Coastal Area of Probolinggo Using Satellite Imagery)', *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 17(2). Available at: <http://dx.doi.org/10.30536/j.pjpdcd.2020.v2.a3216>.
- Zhou, N. *et al.* (2021) 'Overview of recent land cover changes, forest harvest areas, and soil erosion trends in Nordic countries', *Geography and Sustainability*, 2(3), pp. 163–174. doi: 10.1016/j.geosus.2021.07.001.

BAB 4

EROSI DAN PROSES EROSI TANAH

Oleh Henly Yulina

4.1 Pendahuluan

Tanah adalah bagian penting dari kehidupan di bumi dan penting untuk kehidupan manusia, dalam penyediaan nutrisi untuk menunjang pertumbuhan tanaman dan penyediaan air. Tanah rusak yang disebabkan oleh penurunan bahan organik dan unsur-unsur hara menyebabkan tanah tidak stabil karena pukulan tetesan air hujan serta run off (aliran permukaan), sehingga air mampu menghancurkan dan mengangkut air tersebut. Kerusakan tersebut terjadi salah satunya disebabkan oleh degradasi tanah. Degradasi tanah adalah berkurangnya kualitas dan kuantitas tanah yang disebabkan oleh penurunan sifat fisika, kimia, dan biologi tanah. Tanah yang sudah terdegradasi akan mudah terkena erosi (Injiliana et al., 2020).

4.2 Pengertian Erosi

Terdapat beberapa pengertian erosi diantaranya:

1. Erosi adalah proses terbawanya butiran atau bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain oleh pergerakan air atau angin (Arsyad, 2010).
2. Erosi adalah hilangnya atau terkikisnya tanah atau sebagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain, baik yang disebabkan karena pergerakan air, angin, maupun es (Sumarna, 2015).

3. Erosi adalah fenomena alam yang mengikutsertakan beberapa faktor seperti iklim, tanah, vegetasi, topografi, serta manusia. Erosi menyebabkan hilangnya lapisan atas serta berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap dan menyimpan air (Arif et al., 2017).
4. Erosi sebagai suatu proses perubahan bentuk permukaan bumi yang dipengaruhi oleh faktor kerentanan/kemampuan erosi tanah (Ashari, 2013).
5. Erosi adalah suatu proses terurainya bongkahan tanah menjadi bentuk yang lebih kecil kemudian dibawa oleh media seperti angin dan air (Belasri et al., 2017).
6. Erosi ialah hilangnya permukaan bumi akibat kekuatan angin dan air yang terdiri dari pelepasan, pengangkutan, dan pengendapan partikel tanah (Sabzevari & Talebi, 2019).
7. Erosi adalah berpindahnya tanah atau bagian-bagian tanah melalui media alam dari suatu tempat ke tempat lain. Erosi oleh air dan angin dapat dianggap sebagai media alami yang mengakibatkan hilangnya lapisan tanah dan kemampuan tanah dalam menyerap dan menahan air hujan yang jatuh ke permukaan tanah. Erosi disebut juga terkikisnya atau terkelupasnya tanah. Ini adalah proses air dan angin dapat tanah baik secara alami maupun akibat tindakan manusia (Seran, 2022).
8. Erosi adalah hilangnya lapisan atas tanah oleh air atau angin, kemudian dipindahkan (endapan) ke suatu lokasi (Khalid et al., 2022)
9. Erosi adalah lepasnya partikel tanah, agregat tanah, dan bahan organik dari lokasi semula dan selanjutnya terangkut ke lokasi lain melalui berbagai proses (Poesen, 2018).
10. Erosi tanah adalah berpindahnya partikel-partikel tanah dari tempat asalnya dan selanjutnya berpindah ke daerah yang lebih rendah dimana terjadi proses erosi serta pengendapan secara bersamaan (Alewell et al., 2019).

Erosi dapat mengakibatkan kerugian apabila tidak segera diatasi. Kerugian yang dapat disebabkan oleh erosi diantaranya adalah menurunnya kesuburan tanah yang mengakibatkan produktivitas lahan berkurang (Setyaningsih et al., 2018; Sofyan et al., 2014), struktur tanah rusak, kandungan unsur-unsur hara hilang, berkurangnya *water holding capacity*, bahan organik menurun, kandungan air dalam tanah menurun; serta berkurangnya kualitas tanaman. Kerusakan lahan atau tanah salah satunya disebabkan oleh erosi tanah (Sofyan et al., 2014; Taslim et al., 2019).

Arsyad (2010) menyatakan erosi merupakan suatu proses perpindahan/ perpindahan tanah atau sebagian tanah dari satu lokasi menuju lokasi lainnya oleh air atau angin. Kartasapoetra dan Sutedjo (2010) menyebutkan kerugian ekonomi yang disebabkan oleh erosi tanah ada yang berdampak langsung di lokasi kejadian erosi (on-site) dan secara tidak langsung di luar lokasi kejadian erosi. Dampak langsung bisa terjadi dalam bentuk berkurangnya kesuburan tanah, hilangnya unsur hara tanah, serta menurunnya produktivitas tanaman akibat hilangnya *top soil*, sementara dampak tidak langsung bisa terjadi karena pendangkalan dan dapat terjadi dalam bentuk sedimen yang menyebabkan kerusakan perairan. Rusaknya ekosistem, kualitas air yang buruk, semakin seringnya terjadi kekeringan, serta terkikisnya lahan pertanian.

Lahan utama yang terdampak langsung oleh erosi menyebabkan menurunnya produktivitas lahan (Asdar et al., 2021) yaitu lapisan tanah tempat tanaman berakar hilang, berkurangnya unsur hara, dan struktur tanah hilang (Nurhayati, 2013). Selain itu erosi berdampak pada terbentuknya sedimen, wilayah aliran air dangkal, dan kualitas air menurun (Heryani & Sutrisno, 2013). Secara umum, erosi tanah tidak dapat

dihilangkan seluruhnya, namun dapat diminimalisir/dikurangi melalui tindakan konservasi (Injiliana et al., 2020).

4.2.1 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Adanya Erosi Tanah

Erosi ialah mekanisme perubahan bentuk permukaan bumi yang memiliki peran dalam perkembangan bentang alam. Fenomena erosi dikendalikan oleh kekuatan eksogen. Indonesia termasuk wilayah beriklim tropis, sehingga penyebab utama terjadinya erosi adalah air. Faktor lain yang mempengaruhi erosi selain tenaga eksogen adalah kerentanan/kemampuan tanah oleh erosi (Ashari, 2013).

Dampak terjadinya erosi tanah adalah kerusakan tanah, lahan pertanian, serta ekosistem hutan. Pengendapan tanah merupakan proses sekunder dari erosi yang dapat memberikan kontribusi negatif terhadap sistem irigasi dan sungai, meningkatkan kekeruhan air danau, dan meningkatkan abrasi di daerah hilir pinggir laut. Memperkirakan seringnya terjadinya kehilangan tanah merupakan tindakan pertama dalam mengukur keefektifan konservasi wilayah (Belasri et al., 2017). Erosi disebabkan oleh beberapa faktor. Faktor penyebab erosi adalah faktor geologi (erodibilitas tanah), faktor iklim (curah hujan), faktor topografi, vegetasi, dan faktor manusia atau faktor pengolahan tanah (Aminata & Kurniawan, 2019; Sumarna, 2015).

4.2.1.1. Iklim

Curah hujan termasuk faktor iklim yang utama dalam menentukan proses erosi (Muchlis et al., 2017). Curah hujan yang besar pada daerah tertentu menjadi indikator kemungkinan terjadinya erosi yang tinggi (Setyaningsih et al.,

2018). Tetesan air hujan menjadi media dalam lepasnya partikel tanah. Ketika tetesan air hujan jatuh di atas permukaan tanah tanpa vegetasi, partikel-partikel tanah akan terlepas dan dapat terlempar beberapa inci ke udara. Partikel tanah pada daerah yang landai, hampir dapat tersebar ke semua arah, namun di lereng, arah ke bawah lebih dominan (Seran, 2022).

Pada saat tetesan air hujan jatuh di atas tanah, air hujan tersebut mempunyai energi tinggi serta dapat menghancurkan partikel-partikel tanah serta mengganggu kestabilan tanah. Curah hujan menentukan tingkat penyebaran, kapasitas transportasi, dan kerusakan tanah. Limpasan permukaan terjadi ketika curah hujan melebihi laju infiltrasi dan penguapan. Hujan deras dan tetesan air tanpa bahan organik yang tinggi akan mengakibatkan tanah mudah hancur dan terkena erosi (Pramasela et al., 2022).

Hardiyatmo (2012) menyatakan bahwa faktor curah hujan dan limpasan berinteraksi sehingga bisa mengakibatkan terjadinya erosi. Curah hujan mampu mempengaruhi jumlah air yang jatuh pada lokasi tertentu yang akan mempengaruhi terjadinya limpasan. Hasil penelitian Sitepu et al., (2017) menunjukkan bahwa Intensitas curah hujan berpengaruh berbanding lurus terhadap erosi. Intensitas curah hujan yang tinggi meningkatkan laju erosi tanah. Artinya, I23 dengan jumlah erosi 23,04 g/m²/jam, I34 dengan erosi jumlah 59,52 g/m²/jam, dan I51 dengan jumlah erosi 61,68 g/m²/jam.

4.2.1.2. Tanah

Faktor tanah (erodibilitas tanah) yang berperan penting dalam terjadinya erosi adalah tekstur, struktur, kedalaman efektif tanah, dan permeabilitas tanah (Cholidah & Masrurroh, 2021; Sulistyaningrum et al., 2014). Struktur tanah, tekstur

tanah, bahan organik, serta permeabilitas tanah menjadi komponen tanah yang penting dalam menghitung kerentanan tanah terhadap erosi/erodibilitas tanah (Injiliana et al., 2020).

Selain itu tekstur tanah, kemantapan agregat tanah, permeabilitas tanah, serta kandungan bahan organik termasuk sifat-sifat fisik tanah yang dapat menindikasikan kerapuhan tanah terhadap erosi. Rianto et al., (2019) menyatakan bahwa semakin tinggi nilai erodibilitas tanah maka semakin mudah tanah tersebut tererosi. Erosi lahan disebabkan karena tidak berfungsinya lahan atau kurangnya metode konservasi yang baik, seperti karena pengguna lahan masih kurang sadar terhadap risiko erosi. Menurut Hasan & Pahlevi, (2017) erosi berdampak pada tanah- tanah top soil dengan kandungan unsur hara yang tinggi serta bahan organik berkurang bahkan hilang, akibatnya kesuburan tanah menurun dan pengendapan, sehingga sungai menjadi lebih dangkal.

Tekstur tanah ialah perbandingan ukuran butir-butir tanah (pasir, debu, dan liat). Kandungan liat rendah menyebabkan kemampuan tanah dalam menyerap air rendah sehingga mengakibatkan berkurangnya kadar air dalam tanah. Selain itu koloid liat memiliki manfaat dalam merekatkan agregat tanah sehingga tanah tidak mudah dipindahkan oleh limpasan. Oleh karena itu, tanah yang memiliki kandungan liat rendah pada dasarnya akan mudah terkena erosi (Isra et al., 2019). Tekstur tanah memiliki kriteria yang sulit diperbaiki. Oleh karena itu, metode konservasi tidak bertujuan dalam meningkatkan komposisi liat, melainkan menggantikan peran koloid liat, seperti penggunaan pupuk organik khususnya dalam adsorpsi air serta peningkatan kapasitas tukar kation tanah (Hasibuan, 2015). Menurut Ashari (2013) faktor penting yang berpengaruh terhadap erodibilitas tanah ialah tekstur tanah, sedangkan permeabilitas yang tinggi mampu meminimalisir

limpasan. Permeabilitas memiliki nilai sebanding dengan aerasi tanah. Permeabilitas tanah rendah akan meningkatkan limpasan dan erosi. Di sisi lain, lolosnya air yang tinggi mengurangi kemampuan tanah dalam menahan air serta unsur hara. Tekstur dan porositas merupakan faktor yang mempengaruhi permeabilitas.

Semakin besarnya ukuran tekstur tanah maka semakin mudahnya air terloloskan dari membran tanah. Tanah dengan kandungan ukuran tekstur tanah besar lebih dari 80% tidak mampu menyerap air karena air langsung turun akibat adanya gaya gravitasi. Permeabilitas tanah yang kurang baik dalam hal ini ketidakmampuan tanah menyimpan air dapat diatasi dengan konservasi tanah serta pemberian bahan organik. Pasokan bahan organik mampu menambah jumlah serta aktivitas biota tanah, yang pada gilirannya meningkatkan rongga dan pori-pori tanah serta meningkatkan permeabilitas tanah.

Nilai erodibilitas tanah menunjukkan kondisi dimana kandungan bahan organik dapat mempengaruhi erodibilitas tanah. Menurut Susiyadma, Rizkia Pandji Monde & Hasanah, (2018) jumlah kandungan bahan organik mempengaruhi derajat kerentanan tanah terhadap erosi serta kerentanan tanah terhadap erosi menurun secara linier seiring pertambahan bahan organik tanah. Peran bahan organik tanah dalam membentuk agregat tanah melalui cara mengikat butiran tanah dengan koloid humus hasil dekomposisi, memperbesar volume serta pori-pori tanah, serta menambah aerasi tanah secara keseluruhan (Ardiansyah et al., 2015). Serasah atau mulsa organik yang digunakan untuk penutup tanah serta dalam pengolahan tanah diharapkan mampu meminimalisir terjadinya erosi, limpasan dan memperbaiki sifat fisik tanah.

Vegetasi meminimalisir tetesan air hujan yang jatuh langsung ke dalam tanah, meminimalisir limpasan, meningkatkan kapasitas infiltrasi dan menjaga stabilitas struktur tanah (Sri Sumarniasih et al., 2023). Hasil penelitian Purwantara & Nursa'ban (2012) mengenai resiko terjadinya erosi di Kecamatan Kokup Kabupaten Klong Plogo terungkap bahwa topografi adalah salah satu faktor utama penyebab terjadinya erosi di daerah tersebut. Topografi kawasan Cocup memiliki banyak pegunungan terbuka. Nilai erosi tanah pada 16 satuan lahan tersebut antara 0,61 sampai dengan 1,00. Nilai yang besar mengindikasikan tingkat bahaya erosi pada kawasan Kokup dan mempunyai dampak yang sangat besar terhadap laju erosi.

4.2.1.3. Topografi

Kemiringan dan panjang lereng merupakan faktor topografi yang paling mempengaruhi aliran permukaan serta erosi. Semakin curam medan serta semakin panjang kemiringannya, maka erosi yang terjadi semakin besar. Panjang serta kecuraman lereng suatu daerah menjadi faktor penentu besar kecilnya erosi yang akan terjadi pada suatu wilayah tertentu. Hasil penelitian Dhoke et al., (2018) menunjukkan bahwa DAS Wawoke di DAS Esetsa Kabupaten Ngadara pada umumnya berbukit dan mempunyai kemiringan daratan yang cukup curam. Karena letaknya di daerah berbukit dengan kemiringan yang cukup curam, kawasan tersebut menjadi rentan pada bencana alam seperti tanah longsor serta percepatan erosi.

Yulina et al., (2015) menyatakan semakin panjang serta curam kemiringan lereng maka potensi terjadinya erosi semakin besar. Oleh karena itu, letak lereng menentukan besarnya erosi. Terkait dengan vegetasi, tutupan lahan yang baik mampu

mengurangi erosi, sedangkan tutupan lahan yang kurang baik akan meningkatkan kemungkinan terjadinya erosi. Khalid et al., (2022) dan Sitepu et al., (2017) menyebutkan bahwa semakin curam kemiringannya, semakin mudah partikel tanah terkelupas sehingga meningkatkan laju erosi. Berfokus pada kekuatan hubungan antara lereng dan erosi, kemiringan menjadi faktor yang sangat penting dalam menentukan fenomena erosi.

Hal penelitian Sitepu et al., (2017), yang dilakukan pada tiga lokasi dengan perbedaan kemiringan dan nilai kemiringan tertinggi memperlihatkan dengan curamnya kemiringan lereng maka partikel tanah semakin mudah terlepas dan semakin besar pula erosi yang terjadi. De Lima et al., (2018) menunjukkan bahwa bentuk lereng bukit berpengaruh terhadap limpasan dan erosi. Bentuk lereng bukit mempengaruhi proses hilangnya sedimen, misalnya lereng bukit yang cembung menghasilkan angkutan sedimen yang lebih banyak dibandingkan bentuk lereng bukit yang seragam dan cekung; permukaan cembung adalah yang paling berbahaya dalam hal pembentukan limpasan serta erosi. Sitepu et al., (2017) menunjukkan pengaruh kemiringan lereng bernilai sebanding dengan erosi tanah. Pada sudut kemiringan lereng 100 laju erosi sebesar $23,04 \text{ g/m}^2/\text{jam}$, kemiringan lereng 150 laju erosi $29,616 \text{ g/m}^2/\text{jam}$, dan kemiringan lereng 200 laju erosi $51,96 \text{ g/m}^2/\text{jam}$. Dimana kemiringan tertinggi menyebabkan erosi paling besar.

4.2.1.4. Vegetasi

Menurut Prasad et al., (2021) bahwa efektivitas tanaman sebagai pengendalian erosi ditentukan oleh jenis, jumlah, sebaran, dan tinggi tanaman. Tutupan lahan menjaga tanah dari peluang terjadinya degradasi akibat erosi serta membantu meningkatkan kualitas tanah. Cover crop memiliki peran: (1) menahan atau meminimalisir daya rusak akibat jatuhnya air

hujan serta aliran air pada permukaan tanah; (2) kandungan bahan organik meningkat melalui serasah tanaman; 3) Penyerapan air meningkat. Tutupan lahan berfungsi dalam meminimalisir nilai kemampuan tanah terhadap erosi pada suatu lahan (Injiliana et al., 2020).

Untuk tindakan konservasi yang mudah dilakukan, beberapa pertimbangan perlu dilakukan antara lain: (1) Penanaman vegetasi, meningkatkan tutupan vegetasi di area yang rentan terhadap erosi dengan menanam tanaman penahan erosi seperti rumput, atau pohon (Wen et al., 2023). Hal ini dapat membantu mencegah erosi tanah karena adanya akar tanaman yang kuat. (2) Pemasangan pagar hidup, menggunakan pagar hidup seperti pagar bambu atau pagar hidup dengan jenis tanaman yang tahan erosi di sekitar area yang rawan erosi (Eichmanns et al., 2021). Selain memberikan perlindungan fisik terhadap tanah, pagar hidup juga dapat memberikan estetika yang menarik. (3) Penggunaan mulsa organik seperti jerami, serasah daun, atau plastik yang terurai secara alami. Hal ini dapat membantu menjaga kelembaban tanah, mengurangi aliran permukaan, dan memperlambat erosi (López-Vicente et al., 2020).

Vegetasi dapat membantu mengurangi terjadinya erosi karena pengaruhnya terhadap laju peresapan tanah (infiltrasi tanah). Perbedaan penggunaan lahan mempengaruhi kecepatan infiltrasi. Selain itu penggunaan lahan yang berbeda jenisnya mampu memperbaiki sifat fisika tanah, salah satunya struktur tanah karena adanya kandungan bahan organik yang berbeda dan karakteristik akar. Bahan organik dapat memperbaiki struktur tanah, meningkatkan aerasi, konduktivitas hidrolik jenuh, serta kemampuan tanah menyerap air (Dionizio & Costa, 2019; Ogban & Utin, 2015; dan Zhang et al., 2017). Konduktivitas hidrolik tanah adalah kecepatan pergerakan air melalui tanah. Semakin cepat air bergerak melalui tanah, maka semakin cepat juga air tersebut masuk dalam tanah (infiltrasi) dan mengurangi

limpasan permukaan (aliran permukaan) tanah. Wahjunie et al., (2021) menyatakan pada hasil penelitiannya di Kecamatan Babakan Madan Bogor, pada kedalaman tanah 20-40 cm nilai konduktivitas hidrolis menurun secara signifikan dibandingkan pada kedalaman 0-20 cm. Nilai konduktivitas hidrolis ini dipengaruhi oleh perbedaan penggunaan lahan yang akan mempengaruhi struktur tanah (Ogban & Utin, 2015). Pengaruh utama disebabkan oleh variasi vegetasi (Regüés et al., 2017).

Vegetasi adalah salah satu factor yang berpengaruh nyata terhadap nilai erosi. Agustiningtiasih et al., (2020) dari hasil penelitiannya menunjukkan pada lahan gundul, nilai erosi yang didapatkan adalah 359,32 t/ha/tahun. Dimana nilai tersebut lebih besar dibandingkan pada lahan semak belukar (4,48 ton/ha/tahun). Sejalan dengan Fadhil et al., (2013) menunjukkan lahan dengan vegetasi kakao memberikan pengaruh yang lebih besar dalam menyebabkan erosi dibandingkan dengan tanaman hutan. Rahmadi et al., (2019) menyatakan bahwa ketika lahan tidak bervegetasi atau terbuka akan menyebabkan nilai limpasan permukaan serta erosi lebih besar, yang menempatkan lahan dalam kondisi kritis.

Areal yang mempunyai nilai erosi yang tinggi serta termasuk dalam kriteria tingkat risiko erosi berat adalah pertanian tumpangsari serta pertanian monokultur. Faktor yang mempengaruhi hal tersebut adalah rendahnya kandungan bahan organik tanah. Hasil penelitian Arifin, (2010) menunjukkan bahwa lahan pertanian monokultur mempunyai kandungan bahan organik paling rendah yaitu 1,78%, sedangkan kandungan bahan organik tertinggi terdapat pada hutan sengon (3,58%). Tanah dari lahan monokultur mempunyai kandungan bahan organik paling rendah, karena hanya sedikit humus yang berasal dari sisa-sisa tanaman, dikarenakan tanaman hanya terdiri dari 1 jenis. Selain itu, kegiatan pertanian yang intensif

tanpa dibarengi bahan organik tambahan serta terus ditanami sepanjang musim menyebabkan bahan organik cepat hilang dari tanah, terutama setelah penanaman dimulai. Di sisi lain, lahan hutan sengong mempunyai kandungan bahan organik yang tinggi karena belum dikelola secara terus-menerus (intensif). Bahan organik perlu ditambahkan karena mempunyai pengaruh positif pada sifat fisik tanah yang bertindak dalam mengikat partikel-partikel tanah menjadi agregat yang lebih stabil. Bahan organik memiliki koloid organik, mempunyai luas permukaan lebih besar untuk bertindak untuk pengikat air, oleh sebab itu tanah dapat menahan lebih banyak air. Selain memberikan nutrisi bagi tanaman, hal ini juga mengurangi limpasan permukaan saat hujan.

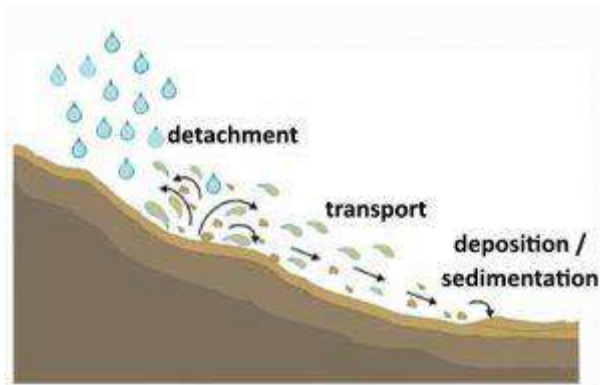
4.3.1.5. Manusia

Faktor lain yang mempengaruhi erosi adalah aktivitas manusia. Permasalahan kependudukan mempunyai dampak yang signifikan terhadap lingkungan hidup, baik dari segi kuantitas maupun kualitas penduduk. Pertumbuhan penduduk dapat berimplikasi pada peningkatan lapangan kerja, pendidikan, kesehatan, serta kerusakan lingkungan. Seiring bertambahnya populasi manusia, kebutuhan sumber daya pun akan meningkat sejalan dengan meningkatkan tekanan terhadap sumber daya yang ada. Pertumbuhan populasi pun akan berimbas pada peningkatan kebutuhan akan perumahan sehingga mengakibatkan terjadinya perubahan dari lahan pertanian menjadi lahan pemukiman (Dhoke et al., 2018). Aktivitas manusia yang akan menimbulkan erosi meliputi penggundulan hutan, aktivitas pertambangan, perkebunan, dan pertanian (Seran, 2022). Dalam semua faktor erosi tersebut, faktor manusia merupakan faktor yang penting. Hal ini dikarenakan penanganan lahan oleh manusia, termasuk

penerapan tindakan konservasi dan sebaliknya, sangat mempengaruhi risiko erosi (Harrys et al., 2014).

4.3 Proses Erosi Tanah

Permukaan kerak bumi senantiasa mengalami pengikisan, di beberapa lokasi terjadinya erosi dan di lokasi lainnya terjadi pengendapan. Pengikisan tanah ini terjadi secara alami serta perlahan. Hasilnya baru terlihat puluhan bahkan berabad-abad kemudian. Proses erosi alami pada kerak bumi ini disebut erosi alami atau erosi geologi merupakan bagian dari siklus geologi. Erosi geologi hanya disebabkan oleh proses alami tanpa campur tangan manusia. Pada tahap erosi geologi, alam berhasil menciptakan keseimbangan dinamis sehingga ketebalan tanah tetap stabil. Namun aktivitas manusia mengganggu keseimbangan ini karena umumnya mempercepat laju erosi. Manusia sebaiknya mulai mengendalikan erosi agar laju erosi tidak melebihi batas yang diperbolehkan (batas toleransi). Erosi tanah terjadi dalam tiga tahap. Tahap pertama adalah lepasnya partikel tanah dari massa tanah, tahap kedua adalah terangkutnya tanah melalui media erosif seperti arus air atau angin. Dalam kondisi di mana energi kinetik yang membawa tanah lebih kecil dibandingkan dengan tanah yang terangkut maka terjadilah pengendapan pada tahap ketiga (Seran, 2022).



Gambar 4. 1. Proses Terjadinya Erosi

Ketiga tahapan erosi tanah dijelaskan di bawah ini:

- *Detachment* (Pelepasan)

Dampak dari air hujan atau angin menyebabkan tanah terurai menjadi partikel-partikel tanah dan kemudian terlepas. Beberapa partikel tanah masuk ke dalam pori-pori tanah dan partikel tanah tersebut menghalangi air hujan untuk menembus ke dalam tanah. Tetesan air hujan yang tidak meresap ke dalam tanah menjadi limpasan. Limpasan semakin besar karena pori-pori tanah tertutup oleh partikel-partikel tanah sehingga proses infiltrasi air hujan berkurang. Ketika limpasan permukaan meningkat, kekuatan air untuk mengikis tanah menjadi lebih kuat sehingga membuat lapisan atas tanah lebih rentan terhadap erosi.

- *Transportation* (Pengangkutan)

Proses transpor merupakan proses pembentukan partikel tanah setelah terlepasnya air hujan. Saat partikel tanah terlepas dan terpental ke udara, partikel tersebut dikembalikan ke tanah oleh gravitasi bumi. Di lereng, partikel tanah menyebar ke bawah searah lereng, sehingga menyumbat pori-pori tanah.

- Deposition atau pengendapan

Partikel-partikel tanah yang terlepas tersebut kemudian diendapkan di lokasi-lokasi yang lebih rendah dari tempat terjadinya erosi.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustiningtiasih, W., Ruslan, H. M., & Badaruddin. (2020). Kajian Tingkat Bahaya Erosi Di Das Satui, Kabupaten Tanah Bumbu. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 3(4), 771. <https://doi.org/10.20527/jss.v3i4.2361>
- Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., & Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, Challenges and Limitations of Soil Erosion Modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 203–225. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- Aminata, F., & Kurniawan, A. (2019). Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Debit Limpasan Pada Daerah Aliran Sungai Bondoyudo Kabupaten Lumajang Dengan Metode Rasional. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), 59–64.
- Ardiansyah, R., Banuwa, I. S., & Utomo, M. (2015). Pengaruh Sistem Olah Tanah dan Residu Pemupukan Nitrogen Jangka Panjang terhadap Struktur Tanah, Bobot Isi, Ruang Pori Total dan Kekerasan Tanah pada Pertanaman Kacang Hijau (*Vigna Radiata L.*). *Jurnal Agrotek Tropika*, 3(2), 283–289.
- Arif, N., Danoedoro, P., & Hartono. (2017). Pemodelan Spasial Erosi Kualitatif Berbasis Raster Studi Kasus di DAS Serang, Kabupaten Kulonprogo. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 15(2), 127–134. <https://doi.org/10.14710/jil.15.2.127-134>
- Arifin, M. (2010). Kajian Sifat Fisik Tanah dan Berbagai Penggunaan Lahan dalam Hubungannya dengan Pendugaan Erosi Tanah. *Jurnal Pertanian MAPETA*, 12(2), 72–144.
- Asdar, A., Sangadji, F. M., & Abdullah. (2021). Surface Flow Rate and Erosion Against Land Use In Batuboy Village, Buru Regency. *Jagritrop : Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian (Journal of Agricultural Science)*, 19(1), 59–66. <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/>

- Ashari, A. (2013). Kajian Tingkat Erodibilitas Beberapa Jenis Tanah di Pegunungan Baturagung Desa Putat dan Nglanggeran Kecamatan Patuk Kabupaten Gunungkidul. *Informasi*, 39(1), 15–31. <https://doi.org/10.21831/informasi.v0i2.4441>
- Belasri, A., Lakhouili, A., & Halima, O. I. (2017). *Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties of Oued El Makhazine watershed, Morocco*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:203627432>
- Cholidah, N. N. Z., & Masruroh, H. (2021). Analisis Kemampuan Lahan sebagai Arahan Penggunaan Lahan dengan Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) di Kabupaten Nganjuk. *Jurnal Integrasi Dan Harmoni Inovatif Ilmu-Ilmu Sosial (JIHIS)*, 1(11), 1167–1181. <https://doi.org/10.17977/um063v1i11p1167-1181>
- De Lima, J. L. M. P., Isidoro, J. M. G. P., De Lima, M. I. P., & Singh, V. P. (2018). Longitudinal Hillslope Shape Effects on Runoff and Sediment Loss: Laboratory Flume Experiments. *Journal of Environmental Engineering*, 144(2), 4017097. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)EE.1943-7870.0001302](https://doi.org/10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0001302)
- Dhoke, M. E., Kusumandari, A., & Senawi, S. (2018). Tingkat Erosi dan Rancangan Teknik Konservasi Tanah dan Air di Sub DAS Waewoki, DAS Aesesa Kabupaten Ngada Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Manusia Dan Lingkungan*, 25(1), 7–17. <https://doi.org/10.22146/jml.23045>
- Dionizio, E. A., & Costa, M. H. (2019). Influence of Land Use and Land Cover on Hydraulic and Physical Soil Properties at the Cerrado Agricultural Frontier. *Agriculture*, 9(1). <https://doi.org/10.3390/agriculture9010024>
- Eichmanns, C., Lechthaler, S., Zander, W., Pérez, M. V., Blum, H., Thorenz, F., & Schüttrumpf, H. (2021). Sand Trapping Fences as a Nature-Based Solution for Coastal Protection: An International Review with a Focus on Installations in Germany. *Environments*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/environments8120135>

- Fadhil, M., Monde, A., & Rahman, A. (2013). Tingkat Bahaya Erosi (TBE) pada Hutan dan Lahan Kakao di Desa Sejahtera, Kecamatan Palolo, Kabupaten Sigi. *Agrotekbis*, 1(3), 236–243.
- Harrys, M., Priyono, S., & Utomo, W. H. (2014). Implementasi Pemeliharaan Lahan Pada Tanaman Ubikayu: Pengaruh Pengelolaan Lahan Terhadap Hasil Tanaman dan Erosi. *Jurnal Tanah Dan Sumberdaya Lahan*, 1(1), 79–84.
- Hasan, H., & Pahlevi, R. S. (2017). Zonasi Tingkat Erodibilitas Tanah Pada Area Reklamasi Tambang PT. Bharinto Ekatama Kabupaten Kutai Barat Kalimantan Timur. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi IV, November*, 92–99.
- Hasibuan, A. S. Z. (2015). Pemanfaatan Bahan Organik dalam Perbaikan Beberapa Sifat Tanah Pasir Pantai Selatan Kulon Progo. *Planta Tropika Journal of Agro Science*, 3(1), 31–40. <https://doi.org/10.18196/pt.2015.037.31-40>
- Heryani, N., & Sutrisno, N. (2013). Teknologi Konservasi Tanah dan Air untuk Mencegah Degradasi Lahan Pertanian Berlereng. *Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pertanian*, 32(3).
- Injiliana, L., Widiastuti, T., & Riyono, J. N. (2020). Erodibilitas Tanah (K) Pada Berbagai Tutupan Lahan Di Desa Baru Kecamatan Silat Hilir Kabupaten Kapuas Hulu. *Jurnal Hutan Lestari*, 8(4), 773–781. <https://doi.org/10.26418/jhl.v8i4.44323>
- Isra, N., Lias, S. A., & Ahmad, A. (2019). Karakteristik Ukuran Butir dan Mineral Liat Tanah pada Kejadian Longsor (Studi Kasus: Sub Das Jeneberang). *Jurnal Ecosolum*, 8(2), 62–73. <https://doi.org/10.20956/ecosolum.v8i2.7874>
- Khalid, S., Badaruddin, B., & Kadir, S. (2022). Analisis Tingkat Bahaya Erosi di DAS Kintap Bagian Hilir Kabupaten Tanah Laut. *Jurnal Sylva Scientiae*, 5(3), 437–445. <https://doi.org/10.20527/jss.v5i3.5717>

- López-Vicente, M., Calvo-Seas, E., Álvarez, S., & Cerdà, A. (2020). Effectiveness of Cover Crops to Reduce Loss of Soil Organic Matter in a Rainfed Vineyard. *Land*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/land9070230>
- Muchlis, D. R., Sobirin, S., & Damayanti, A. (2017). Wilayah Keterpaparan Erosi Akibat Hujan di Kabupaten Kulon Progo, DI Yogyakarta. *8th Industrial Research Workshop and National Seminar Industrial Research Workshop and National Seminar Politeknik Negeri Bandung*, 722–730. <https://jurnal.polban.ac.id/proceeding/article/view/786>
- Nurhayati, L. (2013). *PENGARUH EROSI TERHADAP PRODUKTIVITAS LAHAN DAS WALIKAN KABUPATEN KARANGANYAR DAN WONOGIRI TAHUN 2012*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:129129153>
- Ogban, P. I., & Utin, U. . (2015). Effect of Land Use on Infiltration Characteristics of Soils in Northern Akwa Ibom State, South-eastern Nigeria. *Agro-Science*, 7, 141–149. <https://doi.org/10.4314/as.v16i3.5>
- Poesen, J. (2018). Soil erosion in the Anthropocene: Research needs. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(1), 64–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/esp.4250>
- Pramasela, Limantara, L. M., & Wahyuni, S. (2022). Analisis Volume Limpasan Permukaan dan Erosi Tanah dengan Model Soil Conservation Service (SCS) dan Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE) Menggunakan Alat Rainfall Simulator. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(1), 410–423.
- Prasad, I. G. N. G. G., Trigunasih, N. M., & Sumarniasih, M. S. (2021). Prediksi Erosi dan Perencanaan Konservasi Tanah dan Air pada Daerah Aliran Sungai Yeh Ho di Kabupaten Tabanan. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika*, 10(2), 161–172. <https://ojs.unud.ac.id/index.php/JAT>
- Purwantara, S., & Nursa'ban, M. (2012). Pengukuran Tingkat Bahaya Bencana Erosi di Kecamatan Kokap. *Geomedia*, 10(1), 111–128.
- Rahmadi, Ruslan, M., & Kadir, S. (2019). Analisis Tingkat Bahaya Erosi di Sub DAS Banyuhirang DAS Maluka Kota Banjarbaru. *Jurnal Sylva Scienteeae*, 02(5), 930–938.

- Regüés, D., Badía, D., Echeverría, M. T., Gispert, M., Lana-Renault, N., León, J., Nadal, M. E., Pardini, G., & Serrano-Muela, P. (2017). Analysing the effect of land use and vegetation cover on soil infiltration in three contrasting environments in northeast Spain. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 43(1), 141–169. <https://doi.org/10.18172/cig.3164>
- Rianto, D. J., Nursanto, E., & Kresno. (2019). Analisis Potensi Lahan Bekas Tambang Dalam Memberikan Manfaat Terhadap Peruntukan Lahan Perkebunan di Kabupaten Tebo Provinsi Jambi. *Prosiding Seminar Teknologi Kebumian Dan Kelautan (SEMITAN)*, 61–68. <http://ejurnal.itats.ac.id/semitan/article/view/828>
- Sabzevari, T., & Talebi, A. (2019). Effect of Hillslope Topography on Soil Erosion and Sediment Yield Using USLE Model. *Acta Geophysica*, 67(6), 1587–1597. <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00361-8>
- Seran, S. S. L. M. F. (2022). Analisis Erosi Pada Das Noelmina Menggunakan Metode USLE. *Eternitas: Jurnal Teknik Sipil*, 2(1), 33–39. <https://doi.org/10.30822/eternitas.v2i1.1716>
- Setyaningsih, W., Sriyono, & Benardi, A. I. (2018). Kajian Kerusakan Lahan Di Daerah Aliran Sungai (Das) Kreo Akibat Pembangunan Pemukiman Di Sekitar Waduk Jatibarang Kota Semarang. *Media Komunikasi Geografi*, 19(2), 177–186. <https://doi.org/10.23887/mkg.v19i2.16027>
- Sitepu, F., Selitung, M., & Harianto, T. (2017). Pengaruh Intensitas Curah Hujan dan Kemiringan Lereng Terhadap Erosi Yang Berpotensi Longsor. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 21(1), 23–27. <https://doi.org/10.25042/jpe.052017.03>
- Sofyan, D., Karepesina, S., & Cahyono, T. D. (2014). Tingkat Erosi Sub Daerah Aliran Sungai Wae Sari III; Korelasi antara Erosi dengan Faktor Penggunaan Lahan, Topografi dan Jenis Tanah (Wae Sari Sub-watershed Erosion Level; Correlation between Erosion and Land Use Factors, Topography and Soil Type). *Jurnal Agrohut*, 5(2), 116–126.

- Sri Sumarniasih, M., Trigunasih, N. M., & Surbakti, M. (2023). Penentuan Tingkat Erosi dan Perencanaan Konservasi Lahan di Sub DAS Telagawaja Kabupaten Karangasem Provinsi Bali. *Agrotechnology Research Journal*, 7(1), 65–71. <https://doi.org/10.20961/agrotechresj.v7i1.76266>
- Sulistyaningrum, D., Susanawati, L. D., & Suharto, B. (2014). Pengaruh Karakteristik Fisika-Kimia Tanah Terhadap Nilai Indeks Erodibilitas Tanah Dan Upaya Konservasi Lahan. *Jurnal Sumber Daya Alam Dan Lingkungan*, 2(1), 55–62.
- Sumarna, D. (2015). Identifikasi Erosi dan Pengaruhnya Terhadap Lapisan Tanah Subur Pada Lahan Pertanian Produktif Studi Kasus: Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum Hulu. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi 2015, Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Jakarta, 17 November 2015*, 1–13.
- Susiyadma, Rizkia Pandji Monde, A., & Hasanah, U. (2018). Prediksi Bahaya Erosi Perkebunan Kelapa Sawit di PT. Agro Nusa Abadi Desa Molindo Kecamatan Petasia Tmur Kabupaten Morowali Utara. *Agrotekbis*, 6(3), 397–404.
- Taslim, R. K., Mandala, M., & Indarto, I. (2019). Pengaruh Luas Penggunaan Lahan Terhadap Laju Erosi: Studi Pada Beberapa DAS Di Wilayah Tapal Kuda Jawa Timur (the Effect of Land Use on Erosion Rate: A Study at Several Watersheds in Tapal Kuda Region, East Java). *Jurnal Penelitian Sosial Dan Ekonomi Kehutanan*, 3(2), 141–158. <https://doi.org/10.20886/jppdas.2019.3.2.141-158>
- Wahjunie, E. D., Baskoro, D. P. T., & Tarigan, S. D. (2021). Peranan Pergerakan Air Dalam-Tanah dalam Menurunkan Aliran Permukaan. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 26(2), 292–300. <https://doi.org/10.18343/jipi.26.2.292>
- Wen, X., Zhen, L., Jiang, Q., & Xiao, Y. (2023). A global review of the development and application of soil erosion control techniques. *Environmental Research Letters*, 18(3), 33003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acbaac>

- Yulina, H., Saribun, D. S., Adin, Z., & Maulana, M. R. (2015). *Hubungan antara Kemiringan dan Posisi Lereng dengan Tekstur Tanah, Permeabilitas dan Erodibilitas Tanah pada Lahan Tegalan di Desa Gunungsari, Kecamatan Cikatomas, Kabupaten Tasikmalaya*.
<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132946828>
- Zhang, L., Karthikeyan, R., Bai, Z., & Srinivasan, R. (2017). Analysis of streamflow responses to climate variability and land use change in the Loess Plateau region of China. *CATENA*, 154, 1–11.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.catena.2017.02.012>

BAB 5

FAKTOR PENYEBAB EROSI TANAH

Oleh Rahmawati Ning Utami

5.1 Faktor Alamiah

Faktor alamiah yang menyebabkan erosi tanah melibatkan berbagai elemen lingkungan yang secara alami mempengaruhi proses erosi.

Faktor alamiah yang berperan dalam konservasi tanah dan air meliputi berbagai aspek lingkungan yang secara alami membantu menjaga keseimbangan ekosistem.

5.1.1 Curah Hujan

Curah hujan adalah jumlah air hujan yang jatuh di suatu daerah dalam periode waktu tertentu. Curah hujan diukur dalam milimeter (mm) dan merupakan faktor penting dalam siklus air serta pengelolaan sumber daya air.

Curah hujan dengan intensitas dan frekuensi tinggi memang dapat menyebabkan erosi tanah. Ketika hujan deras, tetesan air hujan yang jatuh ke tanah menghasilkan energi kinetik yang cukup besar untuk memecah agregat tanah. Hal ini menyebabkan partikel tanah terlepas dan terbawa oleh aliran air (Aditya, 2021).

Selain itu, hujan yang sering terjadi dalam waktu singkat juga meningkatkan risiko erosi karena tanah tidak memiliki cukup waktu untuk menyerap air, sehingga air mengalir di

permukaan dan mengikis lapisan tanah atas (Putri, 2019). Faktor-faktor lain seperti kemiringan lahan, jenis tanah, dan vegetasi juga mempengaruhi tingkat erosi yang terjadi (Lukyani, 2022).

Curah hujan memiliki dampak yang signifikan terhadap pertanian. Berikut adalah beberapa cara bagaimana curah hujan mempengaruhi pertanian:

1. **Ketersediaan Air untuk Tanaman:** Curah hujan menyediakan air yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Tanaman membutuhkan air untuk fotosintesis, transportasi nutrisi, dan proses fisiologis lainnya.
2. **Kualitas Tanah:** Curah hujan yang cukup membantu menjaga kelembaban tanah, yang penting untuk kesehatan akar tanaman. Namun, curah hujan yang berlebihan dapat menyebabkan erosi tanah dan kehilangan nutrisi.
3. **Pengendalian Hama dan Penyakit:** Pola curah hujan dapat mempengaruhi populasi hama dan penyakit tanaman. Misalnya, kondisi lembab dapat meningkatkan risiko penyakit jamur.
4. **Perencanaan Irigasi:** Informasi tentang curah hujan membantu petani merencanakan sistem irigasi yang efisien. Di daerah dengan curah hujan rendah, irigasi tambahan mungkin diperlukan untuk memastikan tanaman mendapatkan cukup air.
5. **Penentuan Waktu Tanam:** Curah hujan mempengaruhi keputusan tentang waktu tanam. Petani sering menanam tanaman mereka berdasarkan pola curah hujan untuk memastikan tanaman mendapatkan air yang cukup selama fase kritis pertumbuhan.
6. **Pengelolaan Risiko:** Pengetahuan tentang pola curah hujan membantu petani mengelola risiko terkait kekeringan atau banjir. Ini memungkinkan mereka untuk mengambil langkah-langkah pencegahan, seperti memilih varietas tanaman yang tahan kekeringan atau membangun sistem drainase.

Mengatasi dampak curah hujan berlebih pada tanaman memerlukan beberapa strategi untuk melindungi tanaman dan menjaga kesehatan tanah. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat diambil:

1. **Drainase yang Baik:** Pastikan lahan memiliki sistem drainase yang baik untuk mengalirkan kelebihan air. Inibisa dilakukan dengan membuat parit atau saluran drainase di sekitar lahan.
2. **Penanaman di Bedengan Tinggi:** Menanam tanaman di bedengan tinggi dapat membantu menghindari genangan air di sekitar akar tanaman, yang dapat menyebabkan pembusukan akar.
3. **Penggunaan Mulsa:** Mulsa dapat membantu mengurangi erosi tanah dan menjaga kelembaban tanah yang stabil. Mulsa organik seperti jerami atau daun kering juga dapat memperbaiki struktur tanah.
4. **Pemangkasan dan Penyanggaan Tanaman:** Memangkas tanaman untuk meningkatkan sirkulasi udara dan menggunakan penyangga untuk tanaman yang tinggi dapat membantu mengurangi risiko penyakit yang disebabkan oleh kelembaban berlebih.
5. **Pemilihan Varietas Tahan Air:** Memilih varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi basah dapat membantu mengurangi kerusakan akibat curah hujan berlebih.
6. **Pengelolaan Nutrisi:** Curah hujan berlebih dapat menyebabkan pencucian nutrisi dari tanah. Oleh karena itu, penting untuk memantau dan menambahkan nutrisi yang diperlukan secara berkala.
7. **Penggunaan Penutup Tanah:** Menanam tanaman penutup tanah dapat membantu mengurangi erosi dan menjaga struktur tanah selama periode hujan deras.
8. **Pengendalian Hama dan Penyakit:** Curah hujan berlebih dapat meningkatkan risiko penyakit tanaman. Oleh karena itu, penting untuk memantau tanaman secara rutin dan mengambil tindakan pencegahan seperti penggunaan fungisida jika diperlukan.

Dengan menerapkan langkah-langkah ini, maka akan dapat membantu melindungi tanaman dari dampak negatif curah hujan berlebih dan memastikan pertumbuhan yang sehat.

5.1.2 Topografi

Topografi adalah studi tentang permukaan bumi dan menggambarkan keadaan relief atau kenampakan alami maupun budaya. Peta topografi merupakan salah satu jenis peta yang menggambarkan relief permukaan bumi dengan seteliti mungkin, termasuk elemen-elemen alami dan budaya. Topografi memainkan peran penting dalam faktor penyebab erosi tanah. Ada tiga hal yang terkait topografi dan erosi tanah diantaranya adalah :

1. Kemiringan Lereng:

- a. Semakin besar kemiringan lereng, intensitas erosi air makin tinggi.
- b. Energi kinetik aliran limpas meningkat seiring dengan semakin besar kemiringan lereng.

2. Panjang Lereng:

Lereng yang panjang memiliki potensi erosi lebih tinggi karena air mengalir lebih jauh dan membawa lebih banyak material.

3. Peta Topografi:

- a. Peta topografi menggambarkan bentuk permukaan tanah, termasuk kemiringan dan panjang lereng.
- b. Informasi dari peta topografi membantu memahami potensi erosi di suatu wilayah.

5.1.3 Jenis Tanah

Beberapa jenis tanah beserta karakteristik dan persebarannya adalah:

1. **Tanah Aluvial:**

- a. Terbentuk dari endapan lumpur yang biasanya dibawa oleh aliran sungai.
- b. Warna cokelat hingga kelabu.
- c. Sangat cocok untuk pertanian padi dan palawija seperti jagung dan tembakau.
- d. Banyak tersebar di Sumatera, Kalimantan, Sulawesi, Papua, dan Jawa.

2. **Tanah Andosol:**

- a. Terbentuk akibat proses vulkanisme pada gunung berapi.
- b. Warna cokelat keabuan.
- c. Sangat subur dan kaya mineral, cocok untuk berbagai jenis tanaman.
- d. Ditemukan di daerah cincin api seperti Jawa, Bali, Sumatera, dan Nusa Tenggara.

3. **Tanah Entisol:**

- a. Pelapukan material dari letusan gunung berapi (debu, pasir, lahar).
- b. Kurang berkembang secara horisontal.
- c. Persebaran luas di berbagai tempat di Indonesia.

4. **Tanah Grumusol:**

- a. Terbentuk dari pelapukan batuan granit.
- b. Kaya bahan organik dan mineral.
- c. Cocok untuk pertanian dan kehutanan.
- d. Ditemukan di Jawa, Sumatera, dan Kalimantan.

5. **Tanah Litosol:**

- a. Terbentuk dari pelapukan batuan keras seperti granit dan batu gamping.
- b. Kurang subur dan memiliki kedalaman yang dangkal.
- c. Ditemukan di daerah pegunungan dan perbukitan.

Erosi tanah dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk jenis tanah. Jenis tanah yang mempengaruhi terjadinya erosi:

1. Tekstur Tanah:

- a. Kasar: Tanah dengan butiran besar sulit tererosi.
- b. Halus (Tanah Liat): Daya rekatnya tinggi, sehingga juga sulit tererosi.

2. Kemantapan Tanah:

- a. Tanah yang stabil cenderung lebih tahan terhadap erosi.
- b. Tanah yang longgar atau lemah lebih rentan tererosi.

3. Permeabilitas Tanah:

- a. Tanah yang memiliki tingkat permeabilitas rendah (misalnya tanah liat) dapat menyebabkan air mengalir permukaan dan meningkatkan risiko erosi.

Mengatasi erosi pada tanah liat memerlukan beberapa tindakan pencegahan. Langkah yang dapat dilakukan adalah:

1. Tanamlah Rumput dan Semak:

- a. Akar tanaman akan menahan tanah, sementara daunnya melindungi dari hujan yang dapat memecah tanah.
- b. Rerumputan, rumput hias, dan semak-semak sangat cocok untuk menutupi tanah dan mengurangi erosi.

2. Tambahkan Batu atau Mulsa:

- a. Batu atau mulsa membuat tanah berat dan melindungi bibit serta tanaman muda di bawahnya.
- b. Ini juga memperlambat penyerapan air, mengurangi limpasan.
- c. Gunakan cacahan rumput atau serpihan kulit kayu sebagai mulsa.

3. Gunakan Tikar Mulsa (*Mulch Mat*):

- a. Tempatkan tikar mulsa di atas bibit atau tanaman yang masih kecil di lereng.
- b. Pada lereng curam, buat parit kecil di puncak bukit dan letakkan tikar mulsa di dalamnya.
- c. Tikar mulsa akan menahan air dan melindungi tanah dari erosi.

4. Pasang Gelondongan dari Bahan Serat:

- a. Gelondongan serat (misalnya jerami) dapat ditempatkan sepanjang lereng curam.
- b. Air yang mengalir melalui lereng akan melambat ketika mencapai gelondongan dan meresap ke dalam tanah, bukan membawa lumpur ke bawah.

5.1.4 Vegetasi

Vegetasi adalah istilah yang merujuk pada keseluruhan komunitas tetumbuhan di suatu tempat tertentu. Ini mencakup perpaduan berbagai jenis flora penyusunnya serta tutupan lahan yang dibentuk oleh tetumbuhan tersebut. Dalam ekologi, vegetasi memainkan peran penting dalam ekosistem dan dapat ditemukan dalam berbagai tipe lingkungan, seperti hutan, padang rumput, dan tundra. Jadi, vegetasi melibatkan lebih dari sekadar kekayaan jenis tetumbuhan; juga mencakup bentuk hidup, struktur, dan karakteristik lainnya.

Vegetasi memainkan peran penting dalam mengurangi erosi tanah.

Cara vegetasi mempengaruhi terjadinya erosi:

1. **Intersepsi Hujan:** Vegetasi berfungsi sebagai lapisan pelindung antara atmosfer dan tanah. Daun-daun tanaman menahan sebagian hujan, mengurangi dampak langsung pada permukaan tanah.
2. **Pengurangan Kecepatan Aliran Air:** Akar tanaman melekat pada partikel tanah dan batu, mengurangi kecepatan aliran air yang merusak kekuatan tanah. Ini membantu mencegah erosi.
3. **Stabilitas dan Porositas Tanah:** Vegetasi membantu menjaga stabilitas tanah dengan akar yang menahan partikel tanah. Selain itu, tanaman juga memperbaiki porositas tanah, memungkinkan air meresap lebih baik.

5.2 Faktor Manusia

Kegiatan manusia yang merusak lingkungan, seperti penebangan hutan dan penggunaan lahan yang tidak berkelanjutan, dapat menyebabkan kerusakan tanah dan erosi. Tanah yang terlalu dieksploitasi atau terlalu banyak dimanfaatkan tanpa perawatan yang baik akan kehilangan kesuburannya dan menjadi lebih rentan tererosi oleh air dan angin. Oleh karena itu, penting untuk mengelola sumber daya alam dengan bijaksana dan memperhatikan dampaknya pada lingkungan.

Faktor manusia juga berperan dalam erosi tanah. Berikut beberapa cara di mana aktivitas manusia dapat mempercepat erosi:

1. **Penebangan Hutan:** Penggundulan hutan secara besar-besaran mengurangi vegetasi yang dapat menahan tanah. Akibatnya, tanah menjadi lebih rentan tererosi oleh air hujan dan angin.
2. **Pertanian yang Tidak Berkelanjutan:** Praktik pertanian yang merusak, seperti pengolahan tanah yang berlebihan, penggunaan pestisida, dan monokultur, dapat mengurangi kesuburan tanah dan meningkatkan risiko erosi.
3. **Konstruksi dan Pembangunan:** Pembangunan infrastruktur seperti jalan, gedung, dan bendungan dapat mengubah aliran air dan mengganggu lapisan tanah. Tanah yang terbuka akibat konstruksi lebih mudah tererosi.
4. **Penggalian dan Penambangan:** Aktivitas ini mengganggu struktur tanah dan menghilangkan vegetasi. Tanah yang terbuka akibat penambangan atau penggalian lebih rentan tererosi.
5. **Praktik Pertanian yang Tidak Tepat:** Penggunaan lahan yang tidak sesuai, seperti menanam tanaman di lereng yang terlalu curam, dapat meningkatkan risiko erosi.

5.2.1 Penggunaan Lahan

Perubahan penggunaan lahan memainkan peran penting dalam erosi tanah. Ketika hutan alami digantikan oleh lahan pertanian, beberapa faktor berkontribusi pada peningkatan risiko erosi:

1. Deforestasi

Deforestasi adalah salah satu faktor utama yang menyebabkan erosi tanah. Ketika hutan ditebang untuk keperluan pertanian, perkebunan, atau pembangunan, vegetasi yang biasanya melindungi lapisan atas tanah hilang. Akibatnya, tanah menjadi lebih rentan tererosi oleh air hujan dan aliran. Upaya konservasi yang melibatkan penanaman kembali pohon dan vegetasi sangat penting untuk mengurangi dampak deforestasi terhadap tanah dan lingkungan.

2. Aktivitas Pertanian

Pengolahan tanah, penggunaan pestisida, dan penggemburan tanah untuk pertanian mengganggu struktur tanah dan meningkatkan risiko erosi. Aktivitas pertanian memiliki dampak signifikan pada erosi tanah. Beberapa cara aktivitas pertanian mempengaruhi tanah yaitu:

- a. **Pengolahan Tanah:** Pembersihan lahan, penggemburan, dan pengolahan tanah untuk penanaman tanaman mengganggu struktur tanah. Akibatnya, tanah menjadi lebih rentan tererosi oleh air dan angin.
- b. **Penggunaan Pestisida:** Penggunaan pestisida dan bahan kimia lainnya dapat merusak mikroorganisme tanah yang berperan dalam menjaga kesuburan dan struktur tanah.
- c. **Penggemburan Tanah:** Aktivitas penggemburan tanah untuk penanaman tanaman atau konstruksi mengganggu agregasi tanah dan meningkatkan risiko erosi.

Untuk mengurangi dampak ini, praktik konservasi seperti penanaman vegetasi penutup tanah, pengelolaan lahan berkelanjutan, dan pengendalian aliran air sangat penting.

5.2.2 Pengelolaan Tanah

Pengelolaan tanah sangat relevan dalam mengatasi erosi tanah, yang merupakan ancaman serius terhadap keberlanjutan dan produktivitas pertanian. Berikut adalah beberapa faktor penyebab erosi tanah dan bagaimana pengelolaan tanah dapat membantu mengatasi masalah ini:

1. **Faktor Geologi:**

- a. Kemiringan lahan, panjang lereng, tipe batuan, tipe sedimen, dan permeabilitas tanah memengaruhi erosi.
- b. Pengelolaan tanah yang berkelanjutan mempertimbangkan karakteristik geologi untuk mengurangi risiko erosi.

2. **Faktor Biologis:**

- a. Vegetasi dan kondisi tanah memainkan peran penting.
- b. Pengelolaan tanah yang baik melibatkan pemeliharaan vegetasi dan pengendalian gulma untuk mengurangi erosi.

3. **Faktor Iklim:**

- a. Curah hujan yang tinggi meningkatkan risiko erosi.
- b. Pengelolaan lahan harus mempertimbangkan pola curah hujan dan mengadopsi praktik konservasi yang sesuai.

5.2.3 Infrastruktur

Infrastruktur memainkan peran penting dalam factor penyebab erosi tanah. Beberapa hal terkait infrastruktur dan erosi tanah diantaranya :

1. **Pengembangan Lahan dan Pembangunan:** Pembangunan infrastruktur seperti jalan, bendungan, dan pemukiman dapat mengubah aliran air dan mengganggu struktur tanah. Akibatnya, erosi dapat meningkat.

2. **Konstruksi Saluran Air:** Saluran air yang tidak dirancang dengan baik dapat menyebabkan erosi. Aliran air yang terlalu cepat atau terlalu kuat dapat mengikis tanah.
3. **Pengelolaan Drainase:** Sistem drainase yang buruk dapat menyebabkan genangan air dan erosi. Drainase yang baik harus mempertimbangkan aliran air dan perlindungan tanah.

Penting untuk memperhatikan infrastruktur dan mengintegrasikannya dengan pengelolaan tanah yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak erosi.

5.3 Dampak Erosi Tanah

Erosi tanah memiliki dampak yang signifikan pada ekosistem dan lingkungan. Dampak erosi tanah diantaranya adalah:

1. **Kehilangan Unsur Hara dan Kerusakan Struktur Tanah**
 - a. Erosi mengikis lapisan atas tanah yang mengandung nutrisi penting bagi tanaman.
 - b. Tanah kehilangan unsur hara dan bahan organik, mengurangi kesuburan dan produktivitas.
2. **Tanah Menjadi Tandus**
 - a. Erosi merusak struktur tanah, menghancurkan agregat dan melepaskan partikel tanah.
 - b. Akibatnya, tanah menjadi tandus dan sulit untuk mendukung pertumbuhan tanaman.
3. **Dampak pada Hasil Pertanian dan Pendapatan Petani**
 - a. Erosi mengurangi hasil panen dan pendapatan petani.
 - b. Tanah yang tererosi juga mempengaruhi kualitas air dan keberlanjutan sumber daya air.
4. **Risiko Banjir dan Kekeringan**
 - a. Sedimen yang terbawa oleh air dapat menyumbat sungai dan saluran irigasi, menyebabkan banjir.
 - b. Di sisi lain, penurunan kemampuan tanah menyerap air dapat berkontribusi pada kekeringan.

5.4 Strategi Konservasi

Strategi konservasi merupakan pendekatan yang penting dalam menjaga keberlanjutan sumber daya alam dan lingkungan. Strategi konservasi diantaranya meliputi:

1. **Tujuan Konservasi:**
 - a. Konservasi bertujuan untuk memelihara proses ekologi penting dan sistem pendukung kehidupan.
 - b. Melestarikan keanekaragaman genetik agar fungsi banyak proses dan sistem pendukung kehidupan tetap berjalan.
 - c. Memastikan pemanfaatan spesies dan ekosistem yang berkelanjutan.
2. **Rencana Strategis Konservasi:**
 - a. Pemerintah Indonesia memiliki rencana strategis untuk konservasi sumber daya alam dan ekosistem hingga tahun 2024.
 - b. Rencana ini mencakup program, kegiatan, dan arah kebijakan dalam bidang konservasi keanekaragaman hayati.

5.4.1 Penanaman Vegetasi

Penanaman vegetasi merupakan salah satu strategi konservasi yang sangat penting dalam menjaga kualitas tanah dan air. Berikut beberapa hal terkait penanaman vegetasi:

1. **Penanaman Tanaman Penutup Tanah (Cover Crop):** Tanaman penutup tanah seperti rumput atau legum dapat melindungi tanah dari erosi, memperbaiki struktur tanah, dan mengurangi kehilangan nutrisi.
2. **Rotasi Tanaman:** Bergantian menanam berbagai jenis tanaman pada suatu lahan membantu mengurangi risiko degradasi tanah dan memperkaya nutrisi tanah.
3. **Penanaman Kontur:** Menanam tanaman mengikuti kontur lahan membantu mengurangi aliran air dan erosi.

4. **Penggunaan Penutupan Vegetatif:** Vegetasi seperti pohon, semak, dan rumput berperan dalam menjaga kestabilan tanah dan mengurangi erosi.
5. **Pengelolaan Irigasi Efisien:** Pengaturan irigasi yang baik membantu mempertahankan kelembaban tanah dan mengurangi kehilangan air.

5.4.2 Terasering (Sengkedan)

Terasering adalah sebuah teknik konservasi tanah yang digunakan untuk mengurangi kemiringan lereng atau panjang lereng. Caranya adalah dengan menggali atau mengurug tanah pada lereng tersebut. Teknik ini juga dikenal sebagai sistem bertingkat untuk mencegah erosi tanah. Berikut beberapa hal yang perlu diketahui tentang terasering:

1. Fungsi Terasering:

- a. Menyerap air dalam tanah lebih banyak.
- b. Mengurangi aliran air permukaan, sehingga mengurangi risiko erosi.
- c. Meningkatkan kestabilan lereng.
- d. Memudahkan perawatan lahan.

2. Jenis-jenis Terasering:

- a. **Teras Bangku:** Berbentuk tangga atau teras bertingkat.
- b. **Teras Gulud:** Berbentuk teras melingkar atau melengkung.
- c. **Teras Datar:** Berbentuk teras datar dengan permukaan yang rata.

5.4.3 Pengelolaan Air

Pengelolaan sumber daya air berkelanjutan merupakan langkah penting dalam menjaga ketahanan air dan keberlanjutan lingkungan di Indonesia. Berikut beberapa informasi terkait pengelolaan air :

1. Program Pengelolaan Sumber Daya Air Berkelanjutan:

- a. Pemerintah Indonesia telah menetapkan target pengelolaan sumber daya air berkelanjutan hingga tahun 2024.
- b. Target tersebut mencakup akses air minum yang layak, peningkatan kapasitas sumber daya air, dan pasokan air irigasi berkelanjutan.
- c. Strategi struktural dan non-struktural diterapkan untuk meningkatkan kuantitas, kualitas, kontinuitas, dan aksesibilitas sumber daya air.

2. Peraturan dan Dewan Pengelolaan Air:

- a. Empat rancangan peraturan pemerintah yang bersumber dari Undang-Undang Cipta Kerja dan Undang-Undang Nomor 17 tahun 2019 tentang Sumber Daya Air mengatur penyediaan air minum, pengelolaan sumber daya air, dan irigasi.
- b. Dewan Sumber Daya Air Nasional juga dibentuk untuk koordinasi pengelolaan sumber daya air di tingkat nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, R. 2021. *Penyebab dan Jenis Erosi*. Available at: <https://www.suara.com/tekno/2021/01/13/151804/penyebab-dan-jenis-erosi>. (Accessed: 08 Agustus 2024).
- Eirin, G. 2022. *Apa Itu Erosi anah? Ini Pengertian dan Faktor Penyebab Terjadiya*. Available at: <https://bobo.grid.id/read/083260362/apa-itu-erosi-tanah-ini-pengertian-dan-faktor-penyebab-terjadinya?page=2> (Accessed: 08 Agustus 2024).
- Grant, A. 2022. *Excessive Rain On Plants: How To Garden In Wet Ground*. Available at : <https://www.gardeningknowhow.com/plant-problems/environmental/excessive-rain-on-plants.htm> /(Accessed: 08 Agustus 2024).
- Lukyani, L. 2022. *Erosi Tanah: Faktor Penyebab dan Akibatnya*. Available at: <https://www.kompas.com/sains/read/2022/04/18/140200923/erosi-tanah--faktor-penyebab-dan-akibatnya?page=all> (Accessed: 06 Agustus 2024).
- Nomin, Gantulga., Tuyajargal, Iimaa., Munkhjin, Batmunkh., Unursaikhan, Surenjav., Enkhjargal, Tserennadmin., Telmen, Turmunkh., Dorjgotov, Denchingungaa., Batsuren, Dorjsuren. .2023. (2) *Impacts of natural and anthropogenic factors on soil erosion*. Šinžlèh uhaany akademijn mèdèè, Available at: 10.5564/pmas.v63i02.1416 (Accessed: 15 Agustus 2024).
- Prakoso, A. A. 2023. *Curah Hujan-Pengertian, Jenis, Alat Ukur dan Metode Perhitungan*. Available at: <https://rimbakita.com/curah-hujan/>(Accessed: 06 Agustus 2024).
- Putri, A. S & Nibras, N. N. 2019. *Erosi: Jenis, Penyebab dan Prosesnya*. Available at: https://www.kompas.com/skola/read/2019/12/22/160000369/erosi-jenis-faktor-penyebab-dan-prosesnya#google_vignette (Accessed : 17 Agustus 2024).

- Riadi, M. 2021. *Pegertian, Jenis & Penyebab Terjadinya*. Available at: <https://www.kajianpustaka.com/2019/03/pengertian-jenis-dan-penyebab-terjadinya-erosi.html> (Accessed : 06 Agustus 2024).
- Stein, M. 2023. *Study: Extreme rainfall increases ag nutrient runoff, conservation strategies can help* Available at: <https://aces.illinois.edu/news/study-extreme-rainfall-increases-ag-nutrient-runoff-conservation-strategies-can-help> (Accessed: 08 Agustus 2024).
- Sulaeman, D., & Thomas, W. 2019. *Sebab dan Akibat dari Erosi Tanah, dan Bagaimana Mencegahnya*. Available at: <https://wri-Indonesia.org/id/wawasan/sebab-dan-akibat-dari-erosi-tanah-dan-bagaimana-mencegahnya> (Accessed : 09 Agustus 2024).

BAB 6

ALIRAN PERMUKAAN

Oleh Suhardi

6.1 Pendahuluan

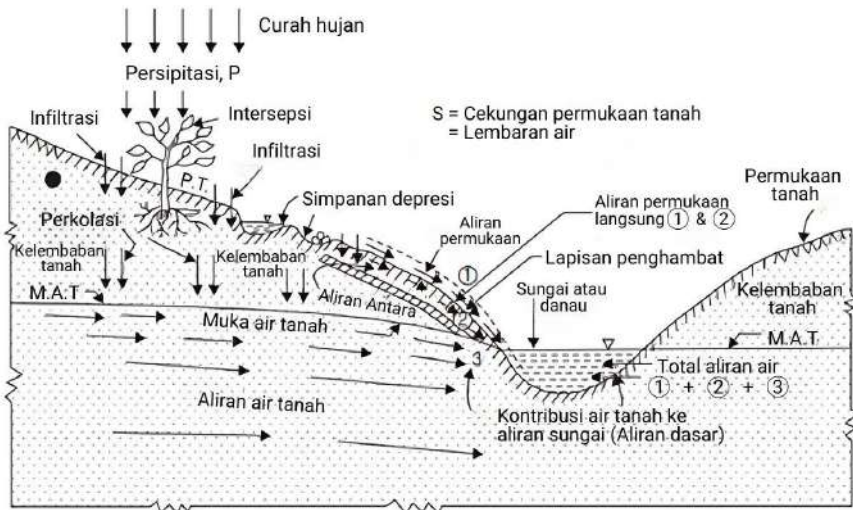
Aliran permukaan (runoff) adalah bagian dari curah hujan yang mengalir menuju saluran, danau, atau lautan sebagai aliran di atas permukaan lahan (Huffman et al., 2013; Schwab et al., 1993). Aliran permukaan dan erosi merupakan proses yang saling terkait namun terpisah. Pada umumnya aliran permukaan yang meningkat akan meningkatkan potensi terjadinya erosi. Jika keduanya tidak terkendali, menyebabkan berbagai jenis kerusakan lingkungan, dan masing-masing memerlukan langkah-langkah pengendalian yang berbeda untuk meminimalkan dampaknya (Johnstone et al., 2010). Pengendalian daya rusak aliran permukaan terhadap lahan dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya adalah memaksimalkan infiltrasi, mempekecil kecepatan aliran permukaan dan mengalihkan aliran air menuju ke saluran yang stabil atau praktek pengelolaan lahan. (Coit and Mack, 2016)

6.2 Proses Aliran Permukaan

Aliran permukaan atau limpasan hanya dapat terjadi jika intensitas hujan melebihi laju infiltrasi tanah setelah kebutuhan intersepsi dan simpanan di permukaan lahan terpenuhi. Aliran

permukaan mungkin tidak terjadi meskipun jumlah curah hujan melebihi intersepsi.

Setelah jumlah intersepsi terpenuhi dan laju infiltrasi terlampaui, air mulai mengisi cekungan di permukaan tanah atau simpanan depresi. Setelah simpanan depresi terisi, lapisan tipis air statis tertahan di permukaan (*surface detention*) akan terbentuk di permukaan tanah, setelah itu lapisan air mulai bergerak di permukaan tanah (*runoff/overland flow*). Setelah penyimpanan air di permukaan terpenuhi, aliran permukaan atau limpasan dimulai. Kedalaman lapisan air terus menumpuk di permukaan hingga laju limpasan berada dalam keseimbangan dengan laju curah hujan yang dikurangi infiltrasi dan intersepsi. Setelah curah hujan berhenti, air di penyimpanan permukaan akhirnya meresap atau terevaporasi (Huffman et al., 2013). Berikut skema proses aliran permukaan.



Gambar 6. 1. Skema Proses Aliran Permukaan
(Sumber : H.M.Raghunath, 2006)

6.3 Dampak Aliran Permukaan

Aliran permukaan akan menyebabkan erosi pada badan aliran (saluran alam atau buatan) dan permukaan lahan. Erosi saluran terjadi baik di saluran air dan sungai yang bersifat intermiten maupun permanen. Tiga penyebab erosi saluran adalah peningkatan limpasan air hujan, penghilangan vegetasi alami di sepanjang saluran air, dan perubahan saluran yang diakibatkan oleh kegiatan konstruksi. Erosi saluran mencakup erosi tepi aliran dan dasar aliran (Johnstone et al., 2010).

Erosi permukaan tanah terjadi pada lereng-lereng yang gundul sebagai akibat dari percikan hujan dan limpasan air hujan. Jenis erosi yang mendominasi dan sumber sedimen adalah erosi permukaan tanah. Erosi permukaan tanah umumnya dibagi menjadi tiga kategori: erosi lembar, erosi rill, dan erosi selokan.

6.4 Faktor Aliran Permukaan

Sebagian besar faktor yang mempengaruhi laju infiltrasi juga mempengaruhi aliran permukaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi limpasan secara umum dikategorikan menjadi karakteristik curah hujan atau karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS). Selain itu, variabel iklim (suhu, kelembaban relatif, dan kecepatan dan arah angin) berpengaruh terhadap aliran permukaan (Huffman et al., 2013). Secara rinci, aliran permukaan dipengaruhi oleh 4 karakteristik (Raghunath, 2006) berikut:

1. karakteristik hujan meliputi: jenis atau sifat hujan dan musim, intensitas hujan, durasi hujan, cakupan wilayah hujan (distribusi), frekwensi hujan, curah hujan sebelumnya dan arah pergerakan hujan. Peningkatan ukuran hujan

cenderung meningkatkan aliran permukaan dan erosi (Sukartaatmajda et al., 2003).

2. Karakteristik cuaca, meliputi: suhu udara, kelembaban, kecepatan angin dan variasi tekanan.
3. Karakteristik DAS. meliputi: ukuran, bentuk, kemiringan, elevasi, topografi, penggunaan lahan/vegetasi, orientasi, jenis jaringan drainase dan jarak antara hulu (gunung) dan outlet (laut).
4. Karakteristik simpanan, meliputi: depresi, danau, sungai saluran, cek dam, reservoir pada hulu, kolam dan simpanan air tanah.

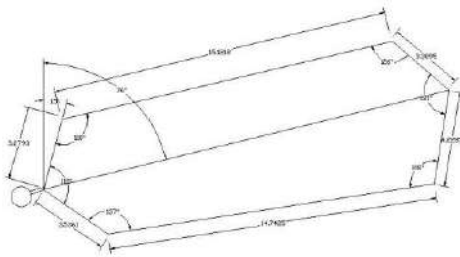
6.5 Penentuan Besar Aliran Permukaan

Aliran permukaan dapat ditentukan dengan pengukuran langsung dengan plot aliran permukaan (Hudson, 1993) dan prediksi dengan beberapa metode diantaranya metode rasional (Huffman et al., 2013). Penggunaan plot aliran permukaan tidak disarankan bagi yang belum memiliki pengalaman dalam menerapkan desain dan analisis statistik untuk masalah tata guna lahan (Hudson, 1993).

6.5.1 Metode Pengukuran

Penentuan aliran permukaan dapat dilakukan secara langsung menggunakan plot ukur dengan menampung aliran. Namun untuk hubungannya dengan erosi, penggunaan metode ini jarang dilakukan karena aliran yang dapat menyebabkan erosi sangat besar sehingga dapat menyebabkan penampungan meluap. Penggunaan plot ukur aliran permukaan untuk memprediksi erosi sering hanya bertujuan untuk mendapatkan nilai sebagai justifikasi suatu proyek konservasi atau menilai dampak pengelolaan lahan terhadap erosi (Hudson, 1993).

Ukuran plot standar adalah 1/100 ha berbentuk persegi panjang dengan lebar 5 meter dan panjang 20 meter atau untuk satuan british luas plot 1/100 acre dengan lebar 6 kaki dan panjang 72,6 kaki. Ukuran dan bentuk plot tidak mengharuskan persegi panjang, namun disesuaikan dengan kondisi lapang. Berikut contoh penggunaan plot ukur di lapangan untuk pengukuran runoff pada lahan kakao.



Skema plot



Plot ukur

Gambar 6. 2. Skema Pengukuran Langsung Aliran Permukaan
(Sumber : Suhardi et al., 2012)

6.5.2 Metode Prediksi/Estimasi

Estimasi aliran permukaan dapat dilakukan dengan beberapa metode (Raghunath, 2006) diantaranya:

(i) Persamaan Empiris dan Kurva

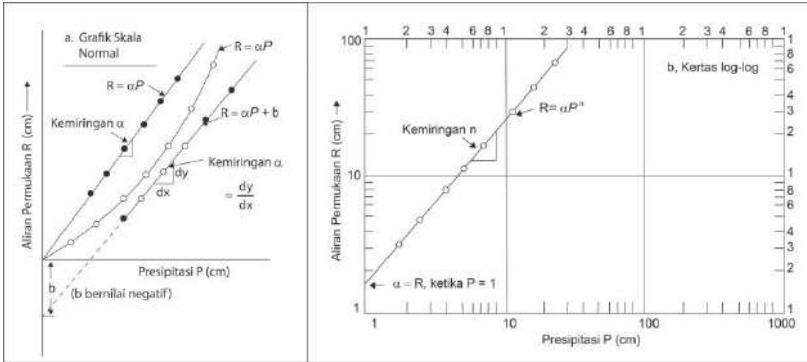
Beberapa rumus empiris dan kurva yang berkaitan dengan curah hujan dan aliran permukaan telah dikembangkan seperti berikut:

Secara umum $R = a P + b$

atau model pangkat, $R = a P^n$

di mana R = aliran permukaan, P = curah hujan, a , b , dan n , adalah konstanta.

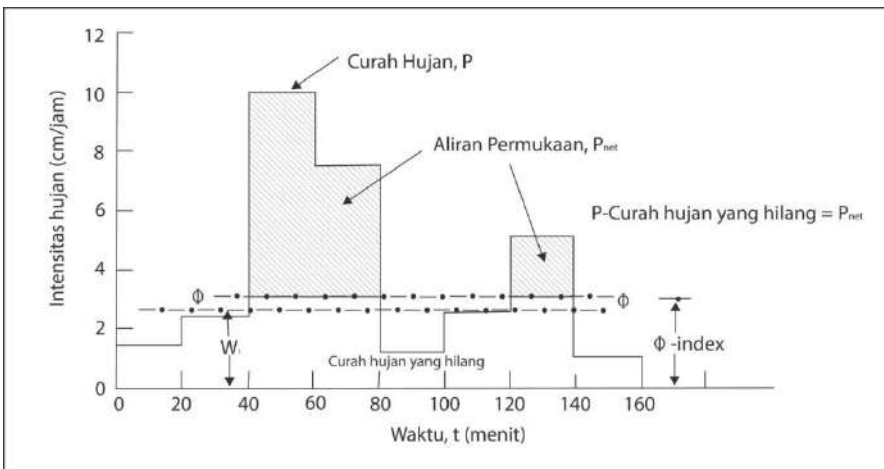
Persamaan tersebut memberikan hubungan antara curah hujan dan aliran permukaan yang dapat digambarkan dengan kurva berikut:



Gambar 6. 3. Hubungan Curah Hujan dan Aliran Permukaan (Sumber :Raghunath, 2006)

(ii) Metode Infiltrasi

Dengan mengurangi kehilangan oleh infiltrasi, yaitu area di bawah kurva infiltrasi, dari curah hujan total atau dengan menggunakan indeks infiltrasi (Φ). Metode ini sebagian besar bersifat empiris dan nilai-nilai yang diturunkan hanya dapat diterapkan jika karakteristik curah hujan dan kondisi kelembaban tanah awal sama dengan yang digunakan untuk mendapatkan nilai tersebut (Raghunath, 2006).



Gambar 6. 4. Skema Metode Infiltrasi (Sumber :Raghunath, 2006)

(iii) Metode rasional

Estimasi aliran permukaan dengan pendekatan rasional adalah jumlah aliran permukaan pada tangkapan hujan berdasarkan pada koefisien aliran permukaan.

Analisa debit banjir dilakukan dengan menggunakan pendekatan rasional untuk memperkirakan debit aliran permukaan atau run off puncak (CVC, 2018) dengan persamaan:

$$Q_r = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

dimana:

Q_r = debit aliran permukaan (m^3/dt)

C = koefisien limpasan permukaan

A = luas daerah tangkapan hujan (km^2)

I = intensitas hujan (mm/jam)

0,278 = faktor konversi

a. Koefisien Aliran Permukaan

Nilai koefisien limpasan menentukan debit air lebih yang harus dikeluarkan dari lahan sebagai aliran permukaan ditentukan menggunakan data pada Tabel 6.1.

Tabel 6. 1. Koefisien aliran permukaan untuk Daerah Aliran Sungai wilayah pertanian

Karakteristik DAS	Ekstrem	Tinggi	Normal	Rendah
Relief - Cr	0,28-0,35 Medan terjal dan dengan kemiringan rata-rata di atas 30%	0,20-0,28 Berbukit, dengan kemiringan rata-rata 10-30%	0,14-0,20 Bergelombang, dengan kemiringan rata-rata 5-10%	0,08-0,14 Tanah relatif datar, dengan kemiringan rata-rata 0-5%

Karakteristik DAS	Ekstrem	Tinggi	Normal	Rendah
Infiltrasi tanah - Ci	0,12-0,16 Tidak ada penutup tanah yang efektif; baik batuan atau mantel tanah tipis dengan kapasitas infiltrasi yang dapat diabaikan	0,08-0,12 Lambat menyerap air, tanah liat atau tanah lempung dangkal dengan kapasitas infiltrasi rendah atau berdrainase buruk	0,06-0,08 Normal; tanah berteksturan ringan atau sedang yang dikeringkan dengan baik, lempung berpasir	0,04-0,06 Pasir dalam atau tanah lain yang mudah menyerap air; tanah yang sangat ringan dan dikeringkan dengan baik
Tutupan vegetasi - Cv	0,12-0,16 Tidak ada penutup tanaman yang efektif, penutup terbuka atau sangat jarang	0,08-0,12 Miskin ke sedang; kultivasi yang bersih, tanaman atau tutupan alami yang buruk, kurang dari 20% area	0,06-0,08 Sedang sampai baik; sekitar 50% area di padang rumput atau hutan yang baik, tidak lebih dari 50% area untuk	0,04-0,06 Baik hingga sangat baik; sekitar 90% dari area drainase di padang rumput yang baik, hutan, atau tutupan yang setara

Karakteristik DAS	Ekstrem	Tinggi	Normal	Rendah
		drainase memiliki tutupan yang baik	tanaman budidaya	
Simpanan permukaan - Cs	0,10-0,12 Diabaikan; cekungan permukaan sedikit dan dangkal, saluran drainase curam dan kecil, tidak ada rawa-rawa	0,08-0,10 Sistem saluran drainase kecil yang terdefinisi dengan baik, tanpa kolam atau rawa	0,06-0,08 Normal; depresi permukaan yang cukup besar, misalnya, danau penyimpanan dan kolam dan rawa-rawa	0,04-0,06 Banyak penyimpanan permukaan, sistem drainase tidak jelas; penyimpanan dataran banjir besar, sejumlah besar kolam atau rawa-rawa

Sumber: (Thomason, 2019)

Catatan: Nilai koefisien C adalah total koefisien relif, infiltrasi tanah, penutupan tanaman dan simpanan air permukaan.

b. Menentukan Luas Daerah Tangkapan Hujan

Luas daerah tangkapan hujan dapat ditentukan dengan menggunakan remote sensing (Singh, 1994) dengan analisis GIS. Luasan dapat ditentukan dengan membatasi unit DAS dengan garis polygon menggunakan data DEM (Chantaveerod et al., 2022). Luas daerah tangkapan hujan dapat diketahui dengan terlebih dahulu menetapkan sistem koordinat peta dalam format UTM.

c. Menentukan Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan diartikan sebagai curah hujan rata-rata dalam mm/jam atau mm/menit untuk durasi curah hujan tertentu dan frekuensi tertentu. Intensitas curah hujan seringkali diartikan sebagai tebal curah hujan untuk durasi tertentu. Peningkatan durasi curah hujan dan periode ulang tahunan menyebabkan meningkatkan jumlah total curah hujan, namun intensitas curah hujan berkurang dengan bertambahnya durasi curah hujan. Hubungan antara besar curah hujan, intensitas hujan, dan durasi hujan dapat dinyatakan dengan persamaan (Ramke, 2015) berikut:

$$I = \frac{R}{t}$$

dimana: I adalah intensitas hujan (mm/jam), R adalah tebal hujan (mm), dan t = lama kejadian hujan (jam).

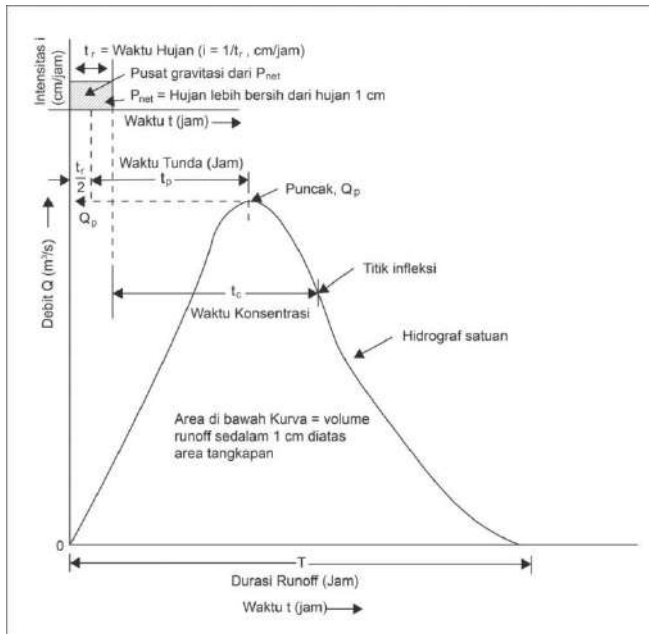
(iv) Hidrograf aliran permukaan

Aliran permukaan terjadi sebagai lapisan tipis air di atas permukaan tanah (segera setelah hujan dimulai), bergabung dengan aliran di saluran, dan kemudian mengalir dalam saluran ke titik konsentrasi. Aliran permukaan relatif lambat dan merupakan jenis aliran yang dominan dalam kasus area yang sangat kecil. Namun, dalam kasus area drainase yang luas, panjang aliran permukaan sangat pendek (sebelum mencapai titik konsentrasi) sehingga waktu konsentrasi total merupakan fungsi dari kecepatan aliran.

(v) Metode hidrograf satuan

Hidrograf limpasan (aliran permukaan) langsung yang diukur di outlet suatu area drainase, yang menghasilkan satu satuan kedalaman hujan yang menyebabkan aliran permukaan langsung (yaitu, hujan sebesar 1 satuan (cm, inc) di atas seluruh

daerah tangkapan air) yang dihasilkan dari suatu satuan hujan dengan durasi tertentu (disebut hidrograf satuan dari durasi tersebut). Berikut contoh hidrograf satuan untuk kedalaman hujan 1 cm dengan lama kejadian hujan lebih T (Raghunath, 2006).



Gambar 6. 5. Aliran permukaan pada hidrigraf satuan (Raghunath, 2006).

(vi) Model Komputer untuk Prediksi Aliran Permukaan

Banyak model komputer telah dikembangkan untuk memprediksi aliran permukaan, beberapa diantara untuk aplikasi khusus. Model hidrologi dan erosi CREAMS, WEPP, dan AnnAGNPS, model drainase DRAINMOD, Soil and Water Assaament Tolls (SWAT), SWMM, dan lain-lain. Model tersebut, selain untuk tujuan khusus, juga dapat mem prediksi limpasan. Beberapa model hidrologi telah diintegrasikan dengan SIG untuk

memperhitungkan variasi spasial tanah, tutupan, penggunaan lahan, dan kondisi pengelolaan lahan (Huffman et al., 2013).

6.6 Pengendalian Aliran Permukaan

Pengendalian aliran permukaan sangat penting karena dapat juga mengendalikan erosi dan sedimentasi (Johnstone et al., 2010). Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk pengendalian aliran permukaan diantaranya:

6.6.1 Vegetasi

Penggunaan jenis vegetasi pada suatu lahan berpengaruh terhadap besar aliran permukaan (Mansida et al., 2021), meskipun pada intensitas hujan yang sama (Goodarzi et al., 2019). Metode yang paling efektif untuk mengendalikan aliran permukaan dan erosi adalah dengan menjaga agar tanah tetap tertutup oleh vegetasi (Johnstone et al., 2010) yang berfungsi untuk:

1. Melindungi tanah dari dampak air hujan, kekuatan angin, dan energi limpasan
2. Menciptakan struktur di dalam tanah dengan akar dan rimpangnya, yang menahan kekuatan aliran permukaan tergapad erosi dan meningkatkan permeabilitas dan infiltrasi tanah
3. Menyediakan pasokan bahan organik yang berkelanjutan, sehingga dapat meningkatkan kesuburan dan infiltrasi
4. Memperlambat aliran permukaan sehingga kecepatan aliran permukaan tidak erosif
5. Menyaring sedimen

6.6.2 Kekasaran permukaan lahan

Laju aliran permukaan dapat dikurangi dengan pengasaran permukaan lahan. Metode ini mudah dan ekonomis yang hanya menciptakan kondisi yang tidak rata atau bergelombang pada permukaan tanah. Alur horisontal cenderung menyebarkan limpasan di atas lereng, memperlambatnya dan memungkinkan lebih banyak limpasan yang meresap ke dalam tanah

6.6.3 Saluran pengelak

Pengalihan aliran dengan saluran pengelak pada bagian atas lereng dapat mencegat limpasan yang akan mengalir melintasi lereng yang terbuka dan menyebabkan erosi. Pengalihan dapat mencegat limpasan yang sarat sedimen dan mengalirkannya ke area di mana sedimen dapat ditampung.

Pengalihan umumnya dibangun sebagai saluran dengan tanggungan di sisi bawah. Seringkali material galian dari saluran digunakan untuk membangun tanggungan. Saluran dan tanggungan dapat berupa tanah yang dipadatkan atau bervegetasi. Ketika kecepatan limpasan yang diantisipasi melebihi 0,45 hingga 0,60 m/detik, pengalihan harus bervegetasi.

6.6.4 Stabilisasi Saluran dan Lereng

Bendungan saja tidak selalu mampu mengurangi kecepatan air ke tingkat yang dapat mencegah erosi sehingga tindakan tambahan mungkin diperlukan untuk menstabilkan dasar saluran. Kecepatan yang diantisipasi pada tingkat yang lebih rendah akan menentukan tindakan stabilisasi yang akan digunakan. Saluran gundul yang tidak bervegetasi umumnya hanya dapat menahan kecepatan hingga 0,45 hingga 0,60 m/detik tanpa mengalami erosi. Saluran berumput yang dapat menahan kecepatan hingga sekitar 1,20 hingga 1,5 m/detik.

Dalam kondisi ekstrim, kecepatan aliran dapat mencapai 4,5 m/detik sehingga diperlukan tindakan ekstrim untuk stabilisasi.

6.6.5 Lubang Penampungan Air Hujan

Lubang penampungan air hujan dirancang untuk menahan air dan melepaskannya selama periode waktu tertentu. Cekungan ini dapat berupa cekungan penampungan atau retensi. Meskipun beberapa sedimen, nutrisi, atau polutan dapat dihilangkan dari limpasan ketika berada di dalam penampungan air hujan, penampungan ini tidak dirancang untuk menghilangkan sedimen dalam jumlah besar dari lokasi konstruksi. Fungsi lubang penampungan selain untuk menahan aliran permukaan (Suhardi et al., 2019a) juga meningkatkan jumlah aliran permukaan masuk ke dalam tanah (Suhardi et al., 2019b), serta dapat menampung sedimen dari erosi yang terbawa oleh aliran permukaan (Suhardi et al., 2017). Berikut contoh lubang penampungan air hujan dan sedimentasi.



Gambar 6. 6. Lubang penampungan air yang berfungsi untuk menahan Aliran permukaan dan sedimentasi (Suhardi et al., 2017).

DAFTAR PUSTAKA

- Chantaveerod, A., Woradit, K., Seagar, A.D., Limpiti, T., 2022. A Novel Algorithm to Delineate Surface Water Paths on Digital Elevation Model Image With Boundary Element Method. IEEE Access 10, 60189–60212. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3180175>
- Coit, J., Mack, M., 2016. Rhode Island Soil Erosion and Sediment Control Handbook, Updated. ed. The University of Rhode Island, Rhode Island.
- CVC, 2018. Handbook of Stormwater Drainage Design, Northern Rivers Local Government. AUS-SPEC-1\NSW, Lismore.
- De Almeida, A.A., Valle, R.R., 2007. Ecophysiology of the cacao tree. Brazilian J. Plant Physiol. 19, 425–448.
- Goodarzi, M.A., Jamali, A.A., Jafarpoor, A., Gholami, A., Shalamzari, M.J., 2019. Soil loss and runoff generation in rangeland , rain-fed and abandoned rain-fed agriculture under simulated rainfall 7, 9–18.
- Hudson, N.W., 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. FAO-UN, Rome.
- Huffman, R.L., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., Workman, S.R., 2013. Soil and Water Conservation Engineering, 7th ed, ASABE. ASABE Publication, St. Joseph, Mich.
- Johnstone, M., SandersJerrold, Delfzijl, S. Van, Mikula, D., 2010. Certified Storm Water Operator and Soil Erosion and Sedimentation Control Inspector/Comprehensive Training Manual, 2010th ed. Department of Environmental Quality State of Michigan, Michigan.
- Mansida, A., Gaffar, F., Zainuddin, M.A., Syamsuri, A.M., 2021. Analysis of infiltration and surface runoff using rainfall simulator with variation of rain intensity and vegetation, in: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. pp. 1–6. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1088/1/012108>

- Raghunath, H.M., 2006. Hydrology: Principles.Analysis.Design, 2nd ed, Hydrology :Principles Analysis Design. New Age International, New Delhi.
- Ramke, H., 2015. Collection of Surface Runoff and Drainage of Landfill Top Cover Systems, in: Solid Waste Landfilling. Elsevier Inc., pp. 373–416. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-407721-8.00019-X>
- Schwab, G.O., Fangmeier, D.D., Elliot, W.J., Frevert, R.K., 1993. Soil and water conservation engineering, 4th ed, John Wiley & Sons, Inc. John Wiley & Sons, Inc., Singapore. <https://doi.org/10.1029/E0057i010p00708>
- Singh, S., 1994. Remote Sensing in the Evaluation of Morpho-hydrological Characteristics of the Drainage Basins of the Jojri Cathment. Ann. Arid Zone 33, 372–278. <https://doi.org/https://epubs.icar.org.in/index.php/AAZ/article/view/65910>
- Suhardi, Munir, A., Faridah, S.N., 2017. Penyediaan Kadar Air Tanah Secara Alami dan Menekan Erosi dengan Penerapan Teknologi Zero Run-Off untuk Mendukung Budidaya Tanaman Kakao secara Berkelanjutan. Makassar.
- Suhardi, Munir, A., Faridah, S.N., Tulliza, I.S., 2012. Pengembangan Model Pengelolaan Lahan Kebun Kakao untuk Meminimalkan Aliran Permukaan dan Erosi. Makassar.
- Suhardi, Munir, A., Faridah, S.N., Waris, A., Sapsal, M.T., Samsuar, 2019a. Use of the Zero Run-Off System to Minimize of Surface Run off on Cacao Land. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 355, 1–5. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/355/1/012104>
- Suhardi, Munir, A., Sapsal, M.T., Faridah, S.N., Samsuar, 2019b. Implementation of Zero Run-Off (ZRO) system on Cocoa land to increase watershed performance. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 235. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/235/1/012089>

- Sukartaatmajda, S., Sato, Y., Yamaji, E., Ishikawa, M., 2003. The Effect of Rainfall Intensity on Soil Erosion and Runoff for Latosol Soil in Indonesia. *Bul. Agron* 31, 71–79.
- Thomason, C., 2019. Hydraulic Design Manual, Notice : 2019-1 Section 12 : Rational Method. Texas Department of Transportation, Texas.

BAB 7

METODE PREDIKSI EROSI

Oleh Muh. Ansar

7.1 Pendahuluan

7.1.1 Defenisi Erosi

Erosi merupakan fenomena alam yang terjadi ketika lapisan permukaan tanah mengalami pengikisan akibat aksi agen-agen erosi seperti air, angin, atau es. Fenomena ini menjadi masalah lingkungan yang serius karena dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah, degradasi lahan, serta kerusakan ekosistem yang lebih luas. Secara global, erosi tanah mengancam ketahanan pangan, mengurangi kapasitas produktif lahan, dan meningkatkan risiko bencana alam seperti banjir dan longsor. Dalam konteks perubahan iklim dan peningkatan aktivitas manusia, seperti deforestasi dan urbanisasi, tingkat erosi diperkirakan akan semakin meningkat. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan pemahaman yang mendalam tentang mekanisme erosi dan cara memprediksinya. Metode prediksi erosi menjadi alat yang penting dalam merencanakan konservasi tanah dan tata guna lahan yang berkelanjutan. Artikel ini akan membahas berbagai Metode prediksi erosi, mulai dari Metode empiris hingga Metode berbasis model fisik dan teknologi canggih.

7.1.2 Pentingnya Prediksi Erosi dalam Manajemen Tanah dan Air

Prediksi erosi memiliki peran yang sangat penting dalam manajemen tanah dan air yang berkelanjutan. Erosi tanah adalah proses alami yang dapat diperparah oleh aktivitas manusia, seperti pertanian yang intensif, penebangan hutan, dan pembangunan infrastruktur. Jika tidak dikelola dengan baik, erosi dapat menyebabkan hilangnya lapisan tanah yang subur, penurunan produktivitas lahan, sedimentasi di badan air, dan degradasi ekosistem secara keseluruhan.

Berikut adalah beberapa alasan mengapa prediksi erosi penting dalam manajemen tanah dan air:

1. Sumber Daya Tanah

Prediksi erosi membantu mengidentifikasi area yang rentan terhadap kehilangan tanah, memungkinkan langkah-langkah konservasi seperti terasering, reboisasi, atau pengelolaan vegetasi untuk mencegah degradasi tanah.

2. Perlindungan Kualitas Air

Erosi tanah dapat menyebabkan sedimentasi di sungai, waduk, dan danau, yang mengurangi kualitas air dan kapasitas penyimpanan air. Dengan memprediksi erosi, manajer sumber daya air dapat mengambil langkah-langkah untuk mencegah sedimentasi berlebihan yang mengganggu ekosistem akuatik dan pasokan air.

3. Perencanaan Penggunaan Lahan

Prediksi erosi memungkinkan perencanaan penggunaan lahan yang lebih bijaksana, dengan mengidentifikasi lahan yang kurang sesuai untuk kegiatan tertentu yang dapat mempercepat erosi, seperti pertanian atau pembangunan. Ini membantu mengarahkan kegiatan manusia ke area yang lebih stabil dan tahan erosi.

4. Mitigasi Dampak Perubahan Iklim

Perubahan iklim dapat meningkatkan frekuensi dan intensitas hujan badai, yang memperburuk erosi tanah. Prediksi erosi yang akurat memungkinkan penyesuaian strategi manajemen lahan dan air untuk menghadapi kondisi iklim yang berubah.

5. Efisiensi dalam Pengelolaan Sumber Daya

Dengan memprediksi di mana dan kapan erosi akan terjadi, sumber daya yang terbatas dapat dialokasikan dengan lebih efisien, fokus pada area yang paling membutuhkan intervensi. Hal ini dapat menghemat biaya dan waktu dalam implementasi program konservasi tanah dan air.

Dengan demikian, prediksi erosi adalah alat penting dalam menjaga kelestarian lingkungan, mendukung keberlanjutan pertanian, dan melindungi sumber daya air. Metode prediksi yang akurat dan efektif menjadi landasan dalam mengambil keputusan yang tepat untuk mengelola tanah dan air secara berkelanjutan.

7.2 Metode Prediksi Erosi

7.2.1 Metode Empiris

Metode empiris adalah pendekatan prediksi erosi yang didasarkan pada analisis statistik hubungan antara erosi yang telah diukur dengan berbagai parameter lingkungan seperti curah hujan, jenis tanah, kemiringan lahan, dan penggunaan lahan. Metode ini biasanya lebih sederhana dan lebih mudah diaplikasikan dibandingkan dengan Metode berbasis proses, karena menggunakan data yang lebih mudah diakses dan tidak memerlukan pemodelan fisik yang kompleks. Salah satu Metode

empiris yang paling terkenal dan banyak digunakan di seluruh dunia adalah Persamaan Universal Kehilangan Tanah (*Universal Soil Loss Equation, USLE*).

1. *Universal Soil Loss Equation (USLE)*

USLE merupakan alat yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith pada tahun 1965, dan telah menjadi dasar dalam perencanaan konservasi tanah selama beberapa dekade. Metode ini menghitung perkiraan kehilangan tanah tahunan akibat erosi yang disebabkan oleh air dengan mempertimbangkan beberapa faktor utama:

a. *R (Rainfall Erosivity Factor)*

Faktor erosivitas hujan yang mengukur potensi erosi dari curah hujan dalam suatu wilayah. Nilai ini tergantung pada intensitas dan jumlah curah hujan.

b. *K (Soil Erodibility Factor)*

Faktor erodibilitas tanah yang menggambarkan kerentanan jenis tanah terhadap erosi. Tanah yang lebih lempung cenderung memiliki nilai K yang lebih tinggi, menunjukkan kerentanan yang lebih besar terhadap erosi.

c. *LS (Slope Length and Steepness Factor)*

Faktor panjang dan kemiringan lereng yang mencerminkan bagaimana topografi mempengaruhi laju erosi. Semakin panjang dan curam lereng, semakin besar pula risiko erosi.

d. *C (Cover and Management Factor)*

Faktor penutup lahan dan pengelolaan yang menunjukkan pengaruh vegetasi, penutup tanah, dan praktik pengelolaan lahan terhadap laju erosi. Vegetasi yang lebih baik cenderung mengurangi laju erosi.

e. *P (Support Practice Factor)*

Faktor praktik konservasi yang mencerminkan efektivitas langkah-langkah pengendalian erosi yang

diterapkan, seperti terasering atau penanaman strip vegetasi.

Penggunaan USLE memungkinkan perencana dan ahli konservasi untuk memperkirakan kehilangan tanah dalam suatu area dan menilai kebutuhan serta efektivitas langkah-langkah pengendalian erosi. Namun, karena USLE didasarkan pada data empiris, Metode ini memiliki keterbatasan dalam akurasi jika diterapkan pada kondisi lahan yang sangat berbeda atau pada skala temporal yang lebih singkat.

2. Keunggulan dan Keterbatasan USLE

Meskipun USLE sangat berguna, Metode ini memiliki keterbatasan karena tidak memperhitungkan proses-proses fisik secara mendetail dan kurang akurat dalam memperkirakan erosi pada skala waktu yang lebih singkat atau pada kondisi lahan yang sangat berbeda.

Keunggulan dan Keterbatasan USLE (*Universal Soil Loss Equation*):

a. Keunggulan

- 1) Sederhana dan Mudah Digunakan: USLE adalah Metode prediksi erosi yang sederhana dan mudah diterapkan. Formulanya terdiri dari beberapa faktor yang dapat dihitung atau diestimasi dengan data yang biasanya tersedia, membuatnya mudah digunakan oleh praktisi dan peneliti.
- 2) Aplikasi Luas: USLE telah digunakan secara luas di berbagai negara dan kondisi geografis, sehingga memiliki basis data dan pengalaman yang kaya. Ini membuat USLE menjadi alat yang akrab dan dapat diandalkan dalam berbagai proyek konservasi tanah dan perencanaan penggunaan lahan.

- 3) Biaya Efektif: Karena kesederhanaannya, USLE tidak memerlukan peralatan atau teknologi canggih untuk dijalankan, menjadikannya Metode yang lebih hemat biaya dibandingkan dengan model prediksi erosi yang lebih kompleks.
 - 4) Cocok untuk Skala Luas: USLE efektif untuk digunakan dalam skala luas, seperti dalam perencanaan konservasi tanah untuk wilayah yang besar, karena dapat mengintegrasikan berbagai faktor yang mempengaruhi erosi pada tingkat regional.
- b. Keterbatasan
- 1) Kurang Akurat untuk Prediksi Spesifik: USLE kurang cocok untuk memprediksi erosi di lokasi tertentu atau dalam situasi yang memerlukan tingkat akurasi tinggi. Ini karena USLE didasarkan pada data empiris dan cenderung menggeneralisasi kondisi lokal.
 - 2) Tidak Memperhitungkan Dinamika Aliran Air: USLE tidak memodelkan dinamika aliran air secara rinci, seperti bagaimana aliran permukaan berkembang selama hujan badai. Ini berarti USLE mungkin tidak menangkap proses erosi yang terjadi secara dinamis dalam skenario cuaca ekstrem.
 - 3) Terbatas pada Erosi Lembar (*Sheet Erosion*): USLE terutama dirancang untuk memprediksi erosi lembar, yaitu hilangnya lapisan tanah yang tipis secara merata di seluruh permukaan lahan. Ini membuatnya kurang efektif untuk memprediksi bentuk erosi lainnya, seperti erosi parit (*gully erosion*) atau erosi tebing sungai.
 - 4) Memerlukan Penyesuaian Faktor untuk Kondisi Lokal: Faktor-faktor dalam formula USLE (seperti faktor curah hujan dan faktor penggunaan lahan) sering kali perlu disesuaikan atau dikalibrasi untuk

kondisi lokal, yang bisa menjadi tantangan jika data yang diperlukan tidak tersedia.

- 5) Tidak Mempertimbangkan Pengaruh Perubahan Iklim: USLE didasarkan pada data historis dan tidak secara eksplisit mempertimbangkan perubahan iklim atau variabilitas iklim jangka panjang, yang dapat mempengaruhi tingkat erosi di masa depan.

Meskipun USLE memiliki keterbatasan, keunggulannya dalam kesederhanaan, biaya rendah, dan aplikasi luas menjadikannya alat yang berguna dalam manajemen tanah dan air, terutama pada skala besar atau ketika data dan sumber daya terbatas.

3. *Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)*

Dalam perkembangannya, Metode USLE telah mengalami berbagai modifikasi dan adaptasi untuk meningkatkan akurasi dan relevansi dalam berbagai kondisi lingkungan. Salah satu modifikasi signifikan adalah *Modified Universal Soil Loss Equation (MUSLE)*, yang dirancang untuk memperkirakan kehilangan tanah akibat peristiwa erosi tunggal, seperti hujan badai atau banjir besar.

MUSLE dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan USLE dalam menangani kejadian erosi spesifik, yang sering kali terjadi dalam skala waktu yang singkat tetapi dengan intensitas tinggi. USLE lebih berfokus pada estimasi kehilangan tanah tahunan, yang mungkin tidak selalu akurat dalam kondisi di mana erosi terjadi dalam peristiwa tunggal dengan debit aliran permukaan yang besar.

MUSLE memperkenalkan faktor baru, yaitu faktor debit aliran permukaan. Faktor ini menggantikan faktor erosivitas hujan (R) dalam USLE, yang lebih sesuai untuk estimasi jangka panjang. Dengan memasukkan debit aliran permukaan langsung, MUSLE mampu memberikan prediksi kehilangan tanah yang lebih realistis untuk kejadian erosi yang dipicu oleh peristiwa hujan ekstrem atau banjir mendadak.

Secara matematis, MUSLE menghitung kehilangan tanah (A) dengan rumus berikut:

$$Ea = R \times K \times LS \times CP$$

Dimana:

$$R = a (VQ \times Qp)^b$$

Keterangan:

Ea = Laju erosi (ton/ha/tahun)

R = Aliran permukaan (*runoff*)

K = Faktor erodibilitas tanah

LS = Faktor panjang dan kemiringan lereng

CP = Faktor penutupan tanah oleh tanaman (C) dan praktek konservasi tanah (P) yang dihitung berdasarkan nilai-nilai yang telah diadopsi untuk kondisi Indonesia.

VQ = Volume aliran permukaan (m³)

Qp = Debit maksimum aliran permukaan (m³/detik)

a = 11,8 (konstan)

b = 0,56 (konstan)

Persamaan produksi sedimen dinyatakan dalam Persamaan:

$$SY = SDR \times Ea$$

Keterangan:

SY = Produksi sedimen (*sediment yield*) (ton/tahun)

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

Ea = Laju erosi (ton/ha/tahun)

Produksi sedimen dipengaruhi rasio jumlah tanah yang terbawa oleh aliran sungai dan menuju ke laut atau SDR (*Sediment Delivery Ratio*). Persamaan SDR dikemukakan oleh USDA (*United States Department of Agriculture*) tahun 1979 dan diuraikan dalam persamaan:

$$SDR = 0,5656 \times A^{-0,11}$$

Keterangan:

SDR = *Sediment Delivery Ratio*

A = luas DAS (km²).

Dengan pendekatan ini, MUSLE lebih akurat dalam memperkirakan kehilangan tanah yang terjadi karena peristiwa erosi individual, khususnya di daerah yang rentan terhadap hujan badai atau di mana aliran permukaan memainkan peran dominan dalam proses erosi.

4. Keunggulan dan Keterbatasan MUSLE

Keunggulan utama MUSLE adalah kemampuannya untuk mempertimbangkan variasi dalam debit aliran permukaan, yang sering kali menjadi penyebab utama erosi tanah dalam skala kecil. Selain itu, MUSLE juga memungkinkan penggunaan data yang lebih spesifik untuk setiap peristiwa erosi, yang dapat meningkatkan ketepatan prediksi dibandingkan dengan pendekatan tahunan yang digunakan dalam USLE.

Keunggulan dan Keterbatasan MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*):

a. Keunggulan

- 1) Prediksi Sedimen yang Lebih Akurat: MUSLE memodifikasi USLE dengan mempertimbangkan volume limpasan (*runoff*) dan puncak aliran (*peak discharge*) untuk memprediksi jumlah sedimen yang diangkut selama suatu peristiwa hujan badai. Hal ini membuat MUSLE lebih akurat dalam memperkirakan jumlah sedimen yang sebenarnya terangkut, terutama dalam kondisi cuaca ekstrem.
- 2) Cocok untuk Peristiwa Hujan Tunggal: MUSLE dirancang untuk menghitung erosi dan transportasi sedimen pada tingkat peristiwa hujan individu, sehingga memberikan prediksi yang lebih spesifik dan relevan dibandingkan dengan USLE, yang lebih fokus pada erosi rata-rata tahunan.
- 3) Fleksibilitas dalam Aplikasi: MUSLE dapat diterapkan di berbagai kondisi lahan dan cuaca, membuatnya berguna dalam berbagai proyek manajemen tanah dan air. Ini juga dapat digunakan di berbagai skala, mulai dari ladang pertanian hingga seluruh daerah aliran sungai (DAS).
- 4) Integrasi dengan Data Hidrologi: Dengan memasukkan parameter hidrologi seperti volume limpasan dan puncak aliran, MUSLE mampu memberikan estimasi yang lebih realistis tentang erosi dan pengangkutan sedimen, yang penting untuk perencanaan pengelolaan sumber daya air.
- 5) Lebih Relevan untuk Pengelolaan Sedimen: Karena fokusnya pada prediksi sedimen yang diangkut oleh aliran air, MUSLE lebih relevan untuk proyek-proyek yang berhubungan dengan pengendalian

sedimen, seperti desain struktur pengendalian erosi dan perencanaan konservasi tanah.

b. Keterbatasan

- 1) Kebutuhan Data yang Lebih Detail: MUSLE memerlukan data yang lebih rinci dibandingkan USLE, seperti data limpasan dan puncak aliran. Ketersediaan dan akurasi data ini dapat menjadi kendala, terutama di daerah yang kurang terpantau atau di negara berkembang.
- 2) Kurang Memperhitungkan Erosi Jangka Panjang: Fokus MUSLE pada peristiwa hujan tunggal membuatnya kurang cocok untuk memprediksi erosi dan transportasi sedimen jangka panjang, di mana fluktuasi cuaca tahunan dan perubahan penggunaan lahan mungkin berperan.
- 3) Tidak Memperhitungkan Semua Jenis Erosi: Seperti USLE, MUSLE terutama memperkirakan erosi lembar (*sheet erosion*) dan tidak memperhitungkan erosi parit (*gully erosion*) atau jenis erosi lainnya yang bisa signifikan di beberapa lanskap.
- 4) Penyesuaian untuk Kondisi Lokal: MUSLE memerlukan kalibrasi dan penyesuaian berdasarkan kondisi lokal, termasuk karakteristik tanah dan curah hujan, untuk menghasilkan prediksi yang akurat. Ini bisa menjadi proses yang rumit dan memerlukan data yang ekstensif.
- 5) Penggunaan yang Terbatas pada Aliran Akibat Hujan: MUSLE lebih efektif untuk memprediksi erosi dan transportasi sedimen yang disebabkan oleh aliran air akibat hujan badai, dan mungkin kurang akurat dalam situasi di mana erosi dipengaruhi oleh faktor lain, seperti aliran air dari pencairan salju atau irigasi.

Secara keseluruhan, MUSLE merupakan peningkatan dari USLE dalam hal prediksi pengangkutan sedimen pada peristiwa hujan badai. Namun, seperti semua model, ia memiliki keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam aplikasinya, terutama terkait kebutuhan data yang lebih detail dan fokus pada peristiwa tunggal.

5. *Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*

Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) adalah hasil pengembangan lebih lanjut dari Persamaan Universal Kehilangan Tanah (USLE) untuk memperbaiki beberapa kelemahan dalam metode prediksi erosi sebelumnya. Pengembangan ini didorong oleh kebutuhan untuk menghasilkan perkiraan yang lebih akurat dan relevan dengan kondisi modern, serta untuk mengakomodasi perkembangan dalam pemahaman kita tentang proses erosi dan ketersediaan data yang lebih baik.

RUSLE mempertahankan kerangka dasar USLE tetapi memperkenalkan sejumlah perbaikan, termasuk penggunaan data yang lebih modern dan akurat, serta penyesuaian faktor-faktor yang terlibat dalam perhitungan kehilangan tanah. Berikut adalah beberapa peningkatan utama yang diperkenalkan dalam RUSLE:

- a. **Penggunaan Data Iklim yang Lebih Terperinci**
RUSLE menggunakan data iklim yang lebih rinci dan diperbarui, termasuk informasi tentang distribusi curah hujan, intensitas, dan frekuensi. Ini memungkinkan perhitungan faktor R (*Rainfall Erosivity*) yang lebih akurat, yang merupakan penentu utama potensi erosi yang disebabkan oleh hujan.
- b. **Perbaikan pada Faktor Erodibilitas Tanah (K)**
Dalam RUSLE, faktor K (*Soil Erodibility*) diperbarui dengan lebih banyak data laboratorium dan lapangan yang lebih baru. Ini memberikan representasi yang lebih

akurat tentang bagaimana berbagai jenis tanah berespon terhadap proses erosi.

- c. Faktor Kemiringan dan Panjang Lereng yang Ditingkatkan (LS)
 RUSLE memperkenalkan perbaikan dalam perhitungan faktor LS (*Slope Length and Steepness*), yang lebih baik dalam menggambarkan efek topografi pada erosi tanah. Perbaikan ini termasuk algoritma yang lebih kompleks untuk memperhitungkan variasi kemiringan dan panjang lereng secara lebih detail.
- d. Penyesuaian Faktor Penutup Lahan dan Pengelolaan (C)
 RUSLE menggabungkan data baru tentang berbagai jenis vegetasi dan praktik pengelolaan lahan, memungkinkan perhitungan faktor C (*Cover and Management*) yang lebih representatif. Ini penting untuk memperkirakan dampak dari berbagai jenis tanaman dan praktik konservasi terhadap pengurangan erosi.
- e. Penerapan Faktor Praktik Konservasi yang Lebih Fleksibel (P)
 RUSLE menawarkan penyesuaian yang lebih fleksibel untuk faktor P (*Support Practice*), yang mencakup berbagai teknik konservasi tanah yang baru dan lebih luas, seperti teknik pengendalian aliran permukaan yang lebih modern.
- f. Penggunaan Teknologi dan Perangkat Lunak
 Salah satu aspek paling signifikan dari RUSLE adalah integrasinya dengan teknologi komputer. Ini memungkinkan simulasi yang lebih kompleks dan penyesuaian model berdasarkan data spesifik lokasi dengan lebih mudah, termasuk penggunaan SIG (Sistem Informasi Geografis) untuk analisis spasial.

6. Keunggulan dan Keterbatasan RUSLE

Secara keseluruhan, RUSLE merupakan peningkatan signifikan dari USLE yang lebih baik dalam mencerminkan kondisi lingkungan yang bervariasi dan memanfaatkan teknologi serta data terbaru. Penggunaannya telah diperluas di berbagai bidang, termasuk pertanian, pengelolaan lahan, perencanaan wilayah, dan mitigasi bencana. Dengan menyediakan alat yang lebih akurat dan fleksibel, RUSLE telah menjadi standar baru dalam prediksi erosi tanah dan perencanaan konservasi tanah yang efektif.

Meskipun RUSLE memiliki banyak keunggulan, penggunaannya tetap memerlukan pemahaman mendalam tentang konteks lokal dan ketersediaan data yang berkualitas. Dalam beberapa kasus, kombinasi RUSLE dengan Metode prediksi lainnya dapat memberikan hasil yang lebih komprehensif.

Keunggulan dan Keterbatasan RUSLE (*Revised Universal Soil Loss Equation*):

a. Keunggulan

- 1) Penyempurnaan dari USLE: RUSLE adalah versi yang telah diperbarui dan disempurnakan dari USLE, dengan perbaikan pada beberapa faktor perhitungan untuk menghasilkan prediksi erosi yang lebih akurat dan relevan. Ini mencakup pembaruan pada faktor curah hujan, penutup lahan, dan pengelolaan lahan.
- 2) Fleksibilitas yang Lebih Tinggi: RUSLE lebih fleksibel dalam penerapannya karena mencakup berbagai jenis tanah, iklim, dan kondisi lahan yang lebih luas dibandingkan USLE. Ini memungkinkan RUSLE untuk diterapkan di berbagai wilayah dan kondisi pertanian yang berbeda.

- 3) Pemodelan yang Lebih Detail: RUSLE memperhitungkan dinamika penggunaan lahan dan praktik pengelolaan lahan secara lebih rinci. Faktor-faktor seperti pola penanaman, rotasi tanaman, dan teknik konservasi tanah dapat dimodelkan dengan lebih baik dalam RUSLE, memberikan prediksi yang lebih spesifik.
 - 4) Peningkatan pada Faktor Erosi: RUSLE memperbarui faktor-faktor seperti erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan lereng (LS), serta praktik pengelolaan lahan (P). Ini meningkatkan akurasi model dalam berbagai kondisi lahan dan cuaca, membantu dalam perencanaan konservasi tanah yang lebih efektif.
 - 5) Penggunaan Perangkat Lunak: RUSLE sering kali diterapkan melalui perangkat lunak yang dirancang khusus, yang memudahkan pengguna dalam mengelola data dan melakukan simulasi erosi secara cepat. Ini juga memungkinkan integrasi dengan data GIS (Sistem Informasi Geografis) untuk analisis spasial.
- b. Keterbatasan
- 1) Masih Berbasis Empiris: Meskipun telah disempurnakan, RUSLE tetap berbasis pada pendekatan empiris yang mungkin tidak menangkap semua dinamika kompleks dari proses erosi, terutama dalam kondisi lingkungan yang sangat bervariasi atau ekstrem.
 - 2) Keterbatasan pada Jenis Erosi Tertentu: RUSLE, seperti pendahulunya, terutama fokus pada prediksi erosi lembar dan alur (*sheet and rill erosion*). Ini membuatnya kurang efektif untuk memodelkan erosi parit (*gully erosion*) atau erosi tebing, yang juga dapat signifikan di beberapa daerah.

- 3) Ketergantungan pada Ketersediaan Data: Akurasi prediksi RUSLE sangat bergantung pada kualitas dan ketersediaan data lokal yang digunakan, termasuk data curah hujan, topografi, jenis tanah, dan praktik pengelolaan lahan. Jika data ini tidak akurat atau tidak tersedia, hasil prediksi RUSLE bisa kurang tepat.
- 4) Kalibrasi dan Penyesuaian yang Rumit: RUSLE sering memerlukan kalibrasi untuk disesuaikan dengan kondisi lokal. Proses ini bisa menjadi rumit dan memerlukan pemahaman mendalam tentang variabel-variabel yang terlibat serta data yang akurat.
- 5) Tidak Mempertimbangkan Erosi Jangka Panjang: Meskipun RUSLE memberikan prediksi yang lebih baik untuk jangka pendek, model ini mungkin kurang akurat dalam memprediksi erosi jangka panjang yang dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan atau perubahan iklim.

Secara keseluruhan, RUSLE merupakan alat yang sangat berguna untuk prediksi erosi tanah dan perencanaan konservasi, terutama ketika digunakan dengan data yang baik dan dalam konteks yang sesuai. Namun, pengguna perlu menyadari keterbatasannya, terutama dalam situasi di mana dinamika erosi yang lebih kompleks perlu dipertimbangkan.

7.2.2 Metode Berbasis Model Fisik

Metode berbasis model fisik merupakan pendekatan prediksi erosi yang lebih mendalam karena mempertimbangkan proses-proses fisik yang terjadi secara langsung dalam erosi tanah. Metode ini bertujuan untuk mensimulasikan dinamika nyata dari aliran air, interaksi antara tanah dan air, serta transportasi sedimen. Karena mempertimbangkan berbagai

aspek fisik dan mekanika tanah, Metode ini lebih kompleks dalam pelaksanaannya, tetapi menawarkan hasil yang lebih akurat, terutama pada skala ruang dan waktu yang lebih kecil, seperti pada tingkat plot lahan atau *sub-watershed*.

1. *Water Erosion Prediction Project (WEPP)*

Salah satu model fisik yang paling terkenal adalah *Water Erosion Prediction Project (WEPP)*. WEPP adalah model prediksi erosi berbasis proses yang dikembangkan oleh Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA). WEPP berfungsi untuk memprediksi erosi tanah dengan cara yang lebih holistik, mempertimbangkan faktor-faktor seperti:

a. Infiltrasi air

Infiltrasi air adalah proses di mana air dari permukaan tanah meresap ke dalam profil tanah. Proses ini sangat penting dalam siklus hidrologi karena menentukan seberapa banyak air hujan yang dapat masuk ke dalam tanah versus berapa banyak yang akan mengalir di permukaan sebagai aliran permukaan. Tingkat infiltrasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti jenis tanah, kondisi kelembaban tanah, kemiringan lereng, vegetasi, dan intensitas curah hujan.

1) Proses Infiltrasi

Infiltrasi dimulai ketika air dari hujan atau irigasi mencapai permukaan tanah. Air kemudian meresap melalui pori-pori tanah dan bergerak ke bawah melalui profil tanah. Kecepatan dan kapasitas infiltrasi dipengaruhi oleh:

- a) **Tekstur Tanah:** Tanah berpasir memiliki pori-pori yang lebih besar sehingga memungkinkan air meresap lebih cepat, sedangkan tanah liat

memiliki pori-pori yang lebih kecil dan cenderung menghambat infiltrasi.

- b) Struktur Tanah: Tanah dengan struktur yang baik, seperti tanah yang gembur atau tanah dengan agregat yang stabil, memiliki pori-pori yang baik untuk infiltrasi. Tanah yang padat atau mengalami pemadatan memiliki infiltrasi yang lebih rendah.
- c) Kelembaban Tanah Awal: Jika tanah sudah jenuh atau mendekati kapasitas lapang, laju infiltrasi akan menurun karena sedikit ruang yang tersisa untuk air tambahan.
- d) Vegetasi: Vegetasi dan sisa tanaman meningkatkan infiltrasi dengan melindungi tanah dari pemadatan akibat tetesan hujan dan memperbaiki struktur tanah melalui akar tanaman yang menciptakan jalur untuk air.
- e) Kemiringan Lereng: Tanah pada lereng yang curam cenderung memiliki infiltrasi lebih rendah karena air cenderung mengalir lebih cepat di permukaan sebelum sempat meresap ke dalam tanah.

2) Faktor Aliran Permukaan

Setelah tanah mencapai kapasitas infiltrasinya, air yang tidak dapat lagi meresap ke dalam tanah akan bergerak sebagai aliran permukaan. Jumlah air yang menjadi aliran permukaan dipengaruhi oleh:

- a) Intensitas Curah Hujan: Hujan dengan intensitas tinggi yang melebihi kapasitas infiltrasi tanah akan menghasilkan aliran permukaan yang lebih besar.

- b) Kondisi Tanah: Tanah yang sudah jenuh dengan air atau tanah yang sangat padat cenderung menghasilkan lebih banyak aliran permukaan.
- c) Vegetasi dan Penutup Tanah: Vegetasi dapat memperlambat laju aliran permukaan dan meningkatkan infiltrasi, mengurangi jumlah air yang mengalir di permukaan. Sebaliknya, permukaan yang gundul atau tertutup oleh permukaan kedap air (misalnya, beton) akan meningkatkan aliran permukaan.

3) Signifikansi dalam Erosi

Infiltrasi yang rendah dan aliran permukaan yang tinggi adalah faktor utama yang memicu erosi tanah. Ketika aliran permukaan meningkat, energi kinetik air juga meningkat, yang dapat mengikis lapisan tanah atas dan mengangkut partikel-partikel tanah. Oleh karena itu, meningkatkan infiltrasi melalui praktik konservasi tanah, seperti penanaman vegetasi, penggunaan mulsa, dan pengelolaan tanah yang baik, adalah strategi utama untuk mengurangi erosi.

Metode berbasis model fisik dalam prediksi erosi sering kali memperhitungkan proses infiltrasi ini secara rinci, karena kemampuan tanah untuk menyerap air sangat menentukan berapa banyak air yang akan menyebabkan erosi sebagai aliran permukaan. Dengan memahami dan mengelola infiltrasi, risiko erosi tanah dapat diminimalkan, membantu dalam menjaga kesuburan tanah dan keberlanjutan ekosistem.

b. Aliran permukaan

Aliran permukaan adalah pergerakan air di atas permukaan tanah, biasanya terjadi ketika hujan atau pencairan salju lebih besar daripada kapasitas tanah untuk menyerap air. Dalam proses ini, air membawa partikel tanah yang tererosi, yang dikenal sebagai erosi permukaan. Simulasi aliran permukaan sering digunakan untuk memodelkan bagaimana air bergerak di atas tanah, termasuk bagaimana air mengikis dan mengangkut partikel-partikel tanah. Ini penting dalam manajemen lahan, pengendalian erosi, dan perencanaan penggunaan lahan untuk mencegah kerusakan lingkungan dan menjaga kualitas air.

c. Transportasi dan deposisi sedimen

Transportasi dan deposisi sedimen adalah proses di mana partikel-partikel tanah, pasir, dan material lainnya dipindahkan oleh aliran air dari satu tempat ke tempat lain.

1) Transportasi Sedimen:

Sedimen diangkut oleh aliran air dalam beberapa cara:

- a) Traksi: Partikel besar, seperti batu dan kerikil, bergulir atau meluncur di sepanjang dasar sungai atau aliran.
- b) Saltasi: Partikel yang lebih kecil, seperti pasir, bergerak dengan cara melompat-lompat di dasar aliran.
- c) Suspensi: Partikel yang sangat halus, seperti lumpur dan lempung, diangkut dalam aliran air tanpa menyentuh dasar, karena ukurannya yang kecil dan beratnya yang ringan.

- d) Larutan: Partikel yang larut dalam air, seperti garam mineral, diangkut dalam bentuk terlarut.
- 2) Deposisi Sedimen:

Sedimen diendapkan ketika kecepatan aliran air menurun, sehingga tidak lagi mampu mengangkut partikel-partikel tersebut. Proses deposisi ini terjadi di beberapa lokasi, tergantung pada energi aliran air:

- a) Di sungai atau aliran air: Di daerah yang lebih lambat seperti lekukan sungai, delta, atau tempat aliran meluas.
- b) Di danau atau waduk: Ketika aliran air mencapai badan air yang lebih besar, sedimen diendapkan di dasar danau atau waduk.
- c) Di pantai atau muara sungai: Aliran air yang memasuki laut melambat, menyebabkan sedimen diendapkan di sepanjang pantai atau di muara.

Proses ini penting dalam pembentukan fitur geologi seperti delta sungai, dataran banjir, dan juga dalam membentuk habitat akuatik yang kaya nutrisi.

WEPP dapat digunakan untuk mensimulasikan erosi tanah pada skala waktu harian hingga tahunan dan pada berbagai kondisi lingkungan. Model ini memungkinkan pengguna untuk memasukkan berbagai parameter seperti jenis tanah, curah hujan, topografi, dan vegetasi, yang membuatnya sangat fleksibel dan dapat disesuaikan dengan berbagai kondisi lahan.

2. *European Soil Erosion Model (EUROSEM)*

European Soil Erosion Model (EUROSEM) adalah model erosi tanah berbasis proses yang dikembangkan untuk memprediksi erosi yang disebabkan oleh hujan badai secara rinci. Model ini memperhitungkan beberapa faktor penting, seperti dinamika aliran permukaan, transportasi sedimen, dan interaksi antara hujan, tanah, serta vegetasi. EUROSEM dirancang untuk digunakan pada skala waktu singkat, seperti selama atau setelah terjadinya hujan badai, dan sangat cocok untuk area dengan topografi yang kompleks.

EUROSEM memodelkan aliran air di permukaan tanah, mulai dari air yang jatuh sebagai hujan hingga bagaimana air tersebut mengalir, mengikis tanah, dan mengangkut sedimen. Model ini mempertimbangkan berbagai aspek, seperti intensitas dan distribusi hujan, karakteristik tanah (misalnya, kekasaran permukaan, kelembaban), serta penutup vegetasi yang dapat mengurangi laju erosi. EUROSEM juga mampu memperkirakan jumlah sedimen yang diendapkan di berbagai lokasi di sepanjang aliran air, membantu dalam perencanaan konservasi tanah dan pengelolaan lahan.

3. *GEOTopSed (Simulasi Erosi di Daerah Pegunungan)*

GEOTopSed adalah model fisik yang dirancang untuk mensimulasikan aliran air permukaan dan transportasi sedimen secara terintegrasi dalam satu kerangka kerja. Model ini sangat berguna untuk memprediksi erosi di wilayah dengan kondisi hidrologis yang kompleks, seperti daerah pegunungan yang memiliki topografi curam dan variabilitas iklim yang tinggi.

GEOtopSed bekerja dengan menggabungkan dinamika hidrologi, termasuk curah hujan, aliran permukaan, dan interaksi antara air dan tanah, dengan proses transportasi sedimen. Model ini memperhitungkan bagaimana air mengalir di atas permukaan tanah, bagaimana partikel-partikel tanah tererosi dan diangkut, serta di mana dan bagaimana sedimen-sedimen ini akhirnya diendapkan. GEOtopSed cocok digunakan untuk memodelkan erosi pada skala yang lebih besar dan pada daerah dengan variasi ketinggian yang signifikan, seperti di pegunungan, di mana aliran air dan proses erosi sangat dipengaruhi oleh topografi yang rumit dan iklim yang dinamis.

4. Keunggulan dan Keterbatasan Model Fisik

Keunggulan dan Keterbatasan Model Fisik dalam Prediksi Erosi adalah:

a. Keunggulan:

- 1) Akurasi Tinggi: Model fisik memberikan prediksi erosi yang lebih akurat karena mempertimbangkan proses-proses fisik yang mendasari erosi, seperti aliran air, transportasi sedimen, dan interaksi antara tanah, air, dan vegetasi. Ini membuat model fisik sangat cocok untuk analisis yang membutuhkan tingkat ketelitian tinggi.
- 2) Kemampuan untuk Memodelkan Kondisi Spesifik: Model fisik dapat disesuaikan dengan berbagai kondisi lingkungan dan topografi yang kompleks, termasuk daerah pegunungan, wilayah dengan curah hujan ekstrem, atau lahan dengan praktik pengelolaan tertentu. Ini membuatnya fleksibel untuk berbagai aplikasi penelitian dan manajemen lahan.

- 3) **Prediksi Jangka Pendek yang Tepat:** Model fisik sangat efektif untuk memprediksi erosi dalam jangka pendek, terutama selama peristiwa hujan badai atau kondisi cuaca ekstrem. Ini karena model fisik dapat menangkap dinamika aliran air dan transportasi sedimen secara real-time.
- 4) **Detail pada Skala Kecil:** Model fisik mampu memberikan detail yang tinggi pada skala kecil, seperti ladang individu atau sektor tertentu dari suatu daerah aliran sungai (DAS). Ini sangat berguna untuk proyek konservasi yang memerlukan intervensi spesifik di lokasi tertentu.
- 5) **Kemampuan Simulasi Dinamis:** Model fisik memungkinkan simulasi skenario dinamis, seperti perubahan penggunaan lahan atau dampak dari tindakan konservasi tertentu. Hal ini memberikan wawasan tentang bagaimana perubahan tersebut dapat mempengaruhi erosi dan transportasi sedimen.

b. Keterbatasan

- 1) **Kebutuhan Data yang Kompleks:** Model fisik memerlukan data yang sangat rinci dan akurat, seperti data tentang tekstur tanah, curah hujan, kecepatan aliran air, dan karakteristik vegetasi. Pengumpulan dan pengolahan data ini bisa memakan waktu dan biaya, serta seringkali sulit diperoleh di wilayah yang kurang terpantau.
- 2) **Proses Kalibrasi yang Rumit:** Model fisik sering kali memerlukan kalibrasi dan penyesuaian yang rumit untuk mencerminkan kondisi lokal dengan akurat. Proses ini membutuhkan pemahaman mendalam tentang variabel-variabel fisik dan sering kali memerlukan uji coba yang ekstensif.
- 3) **Biaya dan Sumber Daya Tinggi:** Karena kompleksitasnya, model fisik biasanya membutuhkan

perangkat lunak khusus dan sumber daya komputasi yang kuat. Ini bisa menjadi kendala bagi proyek-proyek yang memiliki anggaran terbatas atau yang diimplementasikan di wilayah dengan akses terbatas ke teknologi.

- 4) Kesulitan dalam Aplikasi Skala Luas: Meskipun sangat akurat pada skala kecil, penerapan model fisik pada skala yang lebih luas, seperti seluruh daerah aliran sungai atau wilayah regional, bisa menjadi sangat rumit dan kurang efisien. Ini karena kompleksitas yang meningkat seiring dengan ukuran wilayah yang dimodelkan.
- 5) Ketergantungan pada Asumsi dan Penyederhanaan: Meskipun akurat, model fisik masih harus membuat asumsi dan penyederhanaan dalam beberapa aspek untuk membuat simulasi menjadi layak. Ini bisa menyebabkan beberapa detail atau variabel penting diabaikan, terutama dalam kondisi lingkungan yang sangat bervariasi atau ekstrem.

Model fisik adalah alat yang sangat kuat untuk prediksi erosi, terutama ketika digunakan di lingkungan yang memerlukan analisis rinci dan dinamis. Namun, pengguna perlu mempertimbangkan kebutuhan data yang kompleks, biaya tinggi, dan keterbatasan dalam penerapan skala besar saat memilih model ini.

7.2.3 Teknologi Canggih dalam Prediksi Erosi

Seiring dengan perkembangan teknologi, prediksi erosi kini dapat dilakukan dengan memanfaatkan teknologi canggih seperti penginderaan jauh (*remote sensing*) dan Sistem Informasi Geografis (SIG).

1. Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah teknologi yang memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara luas dan kontinu tanpa harus berada di lokasi secara langsung. Ini sangat bermanfaat dalam pemantauan erosi tanah, karena memungkinkan pengamatan yang lebih komprehensif dan real-time.

a. Pemanfaatan Citra Satelit dan *Drone*

Dengan penginderaan jauh, citra satelit dan data dari pesawat tak berawak (*drone*) dapat digunakan untuk memetakan dan mengidentifikasi perubahan lahan, kemiringan lereng, jenis dan kepadatan vegetasi, serta faktor lain yang berkontribusi terhadap erosi. Misalnya, kemiringan lereng yang curam atau penutupan vegetasi yang rendah dapat meningkatkan risiko erosi, dan hal ini dapat diidentifikasi melalui analisis citra satelit.

Penginderaan jauh memberikan keuntungan besar dalam prediksi erosi yang lebih akurat dan berkelanjutan. Data yang dihasilkan dapat digunakan untuk memantau perubahan lahan setelah hujan badai, menganalisis pola erosi, dan membantu dalam pengambilan keputusan untuk tindakan konservasi. Namun, teknologi ini memerlukan perangkat lunak khusus dan keahlian dalam analisis data untuk mengolah dan menafsirkan informasi yang kompleks tersebut.

Penginderaan jauh memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara luas dan kontinu, yang sangat bermanfaat dalam pemantauan erosi. Citra satelit dan data dari pesawat tak berawak (*drone*) dapat digunakan untuk mengidentifikasi perubahan lahan, kemiringan

lereng, dan jenis vegetasi, yang semuanya berpengaruh terhadap tingkat erosi. Teknologi ini memungkinkan prediksi erosi yang lebih real-time dan berkelanjutan, meskipun memerlukan perangkat lunak dan analisis yang canggih.

b. Aplikasi dalam Pemantauan *Real-Time* untuk Prediksi Erosi

Pemantauan *real-time* telah menjadi aspek penting dalam manajemen tanah dan air, terutama dalam memprediksi dan mengelola erosi tanah. Teknologi canggih seperti penginderaan jauh (*remote sensing*) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan pengumpulan dan analisis data secara terus-menerus, memberikan informasi yang diperlukan untuk pengambilan keputusan yang cepat dan tepat. Berikut adalah beberapa aplikasi dalam pemantauan real-time untuk prediksi erosi:

1) Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*):

- a) Citra Satelit: Penginderaan jauh menggunakan satelit dapat memantau perubahan lahan, penutupan vegetasi, dan pola aliran air secara real-time. Data ini membantu mengidentifikasi area yang mengalami peningkatan risiko erosi, terutama setelah hujan lebat atau bencana alam.
- b) Pesawat Tak Berawak (*Drone*): Drone dilengkapi dengan kamera dan sensor dapat digunakan untuk mendapatkan data resolusi tinggi di area spesifik. Ini sangat berguna untuk memantau erosi di daerah yang sulit dijangkau atau di wilayah yang memerlukan pengawasan intensif.

2) Sistem Informasi Geografis (SIG):

- a) Integrasi Data Spasial: SIG memungkinkan integrasi data real-time dari berbagai sumber,

termasuk penginderaan jauh, data hidrologi, dan informasi tanah. Data ini dapat dipetakan dan dianalisis untuk memprediksi erosi dengan mempertimbangkan berbagai faktor yang dinamis.

- b) Analisis Spasial *Real-Time*: SIG dapat digunakan untuk melakukan analisis spasial secara real-time, mengidentifikasi area yang rentan terhadap erosi berdasarkan kondisi saat ini. Hal ini membantu dalam memberikan respons cepat terhadap situasi darurat, seperti ancaman banjir atau longsor.
- 3) Stasiun Pengukur dan Sensor Tanah:
- a) Pengukuran Curah Hujan dan Aliran Air: Stasiun cuaca otomatis dan sensor tanah dapat memberikan data real-time tentang curah hujan, kelembapan tanah, dan aliran permukaan. Informasi ini sangat penting untuk memprediksi kemungkinan erosi pada saat hujan deras atau selama musim hujan.
 - b) Pemantauan Kondisi Tanah: Sensor yang tertanam di tanah dapat memantau kelembapan, erosi, dan perubahan tekstur tanah secara real-time. Data ini membantu dalam memahami bagaimana tanah bereaksi terhadap kondisi cuaca yang berubah dan aktivitas manusia.
- 4) Model Prediksi Berbasis *Real-Time*:
- a) Penggunaan Model Hidrologi: Model hidrologi seperti SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) dapat dioperasikan dalam mode *real-time* dengan data yang diperbarui secara berkala. Ini memungkinkan prediksi erosi yang lebih akurat berdasarkan kondisi hidrologi terbaru.
 - b) Simulasi Erosi Berkelanjutan: Model prediksi yang menggunakan data real-time dapat

mensimulasikan skenario erosi yang sedang berlangsung dan memberikan informasi kepada manajer lahan tentang potensi dampak jangka pendek.

5) Sistem Peringatan Dini:

- a) Peringatan Risiko Erosi: Berdasarkan data *real-time* dari sensor dan penginderaan jauh, sistem peringatan dini dapat dikembangkan untuk memberikan peringatan kepada masyarakat dan pemerintah tentang risiko erosi atau longsor yang akan datang.
- b) Respons Cepat terhadap Bencana: Sistem ini memungkinkan respons cepat dalam situasi bencana, membantu mengurangi kerusakan dan melindungi kehidupan serta properti.

Pemantauan real-time memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih proaktif dan berbasis data, yang esensial untuk manajemen lahan dan air yang efektif. Dengan teknologi yang terus berkembang, aplikasi dalam pemantauan real-time akan semakin penting dalam mengatasi tantangan lingkungan yang dinamis dan kompleks.

2. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah alat yang sangat efektif dalam analisis spasial dan pemodelan erosi tanah. SIG memungkinkan pengumpulan, pengelolaan, dan analisis data lingkungan dari berbagai sumber, yang kemudian dapat diintegrasikan dan dianalisis secara spasial untuk memprediksi tingkat erosi di suatu wilayah.

Dengan menggunakan SIG, berbagai jenis data seperti topografi, jenis tanah, curah hujan, dan penutupan vegetasi dapat dipetakan dan dianalisis secara komprehensif. SIG memungkinkan visualisasi distribusi erosi dan identifikasi

area yang rentan terhadap erosi, memberikan gambaran yang jelas tentang di mana tindakan konservasi paling dibutuhkan.

Kemampuan SIG untuk memodelkan erosi memungkinkan perencanaan lahan dan konservasionis untuk mengembangkan strategi yang lebih tepat sasaran dalam mengatasi masalah erosi. Ini juga memudahkan dalam membuat peta risiko erosi yang dapat digunakan untuk merencanakan pembangunan, penggunaan lahan, dan kegiatan pertanian yang lebih berkelanjutan.

a. Integrasi Data Spasial dan Visualisasi Erosi

Integrasi data spasial dan visualisasi erosi adalah teknik penting dalam pemantauan, analisis, dan manajemen erosi tanah. Dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan teknologi penginderaan jauh, data dari berbagai sumber dapat digabungkan untuk memberikan gambaran yang komprehensif tentang distribusi dan tingkat erosi di suatu wilayah. Berikut adalah beberapa aspek penting dari integrasi data spasial dan visualisasi erosi:

1) Pengumpulan Data Spasial

Data spasial yang digunakan dalam prediksi erosi dapat berasal dari berbagai sumber, termasuk:

- a) Citra Satelit: Citra satelit memberikan informasi tentang penutupan lahan, vegetasi, dan perubahan penggunaan lahan. Data ini dapat digunakan untuk menghitung faktor C (faktor penutup lahan) dalam model erosi seperti USLE dan RUSLE.
- b) Topografi (DEM): Model Elevasi Digital (*Digital Elevation Model*/DEM) memberikan informasi tentang kemiringan dan panjang lereng, yang

penting untuk menghitung faktor LS (panjang dan kemiringan lereng) dalam model erosi.

- c) Data Hidrologi: Informasi tentang curah hujan, aliran air, dan kelembapan tanah dapat diintegrasikan untuk memodelkan aliran permukaan dan potensi erosi.
- d) Data Tanah: Karakteristik tanah, seperti erodibilitas (faktor K), tekstur, dan struktur, dikumpulkan dari survei lapangan atau database tanah nasional.

2) Integrasi Data dalam SIG

- a) Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan integrasi data spasial dari berbagai sumber ke dalam satu platform, memungkinkan analisis yang lebih komprehensif. Langkah-langkah utama dalam integrasi data meliputi:
 - b) Layering: Data dari berbagai sumber diatur dalam bentuk layer (lapisan) dalam SIG, seperti layer penutupan lahan, topografi, dan hidrologi. Ini memungkinkan analisis yang terpisah maupun terintegrasi untuk berbagai aspek yang mempengaruhi erosi.
 - c) Analisis Spasial: SIG digunakan untuk melakukan analisis spasial, seperti mengidentifikasi area dengan kemiringan curam, kurangnya vegetasi, atau curah hujan tinggi, yang semuanya berkontribusi terhadap risiko erosi.
 - d) Pemodelan Erosi: Model erosi seperti USLE, RUSLE, atau WEPP dapat diterapkan dalam lingkungan SIG, menggunakan data spasial yang telah diintegrasikan untuk menghitung laju erosi di berbagai lokasi dalam wilayah studi.

3) Visualisasi Erosi

- a) Visualisasi adalah langkah kunci dalam mengkomunikasikan hasil analisis erosi kepada

pembuat kebijakan, manajer lahan, dan masyarakat umum. Teknik visualisasi yang umum meliputi:

- b) Peta Risiko Erosi: Hasil pemodelan erosi dapat divisualisasikan dalam bentuk peta yang menunjukkan area dengan risiko erosi tinggi, sedang, dan rendah. Peta ini dapat membantu dalam perencanaan konservasi tanah dan tindakan mitigasi.
 - c) 3D Terrain Models: Model 3D yang dibuat dari DEM dan data erosi memberikan visualisasi yang lebih realistis tentang bagaimana topografi mempengaruhi distribusi erosi. Ini sangat berguna untuk memahami erosi di wilayah dengan topografi kompleks.
 - d) Animasi dan Simulasi Dinamis: Visualisasi dinamis yang menunjukkan bagaimana erosi berkembang selama peristiwa hujan atau perubahan penggunaan lahan dapat membantu dalam memahami dampak jangka panjang dan mengkomunikasikan skenario potensial.
- 4) Aplikasi dalam Manajemen Lahan

Integrasi data spasial dan visualisasi erosi dalam SIG memiliki banyak aplikasi praktis:

- a) Perencanaan Konservasi: Peta risiko erosi digunakan untuk merencanakan tindakan konservasi, seperti terasering, reboisasi, atau penanaman vegetasi penutup.
- b) Pemantauan dan Evaluasi: Visualisasi perubahan laju erosi dari waktu ke waktu membantu dalam mengevaluasi efektivitas tindakan konservasi yang telah diterapkan.
- c) Pengambilan Keputusan: Pembuat kebijakan dapat menggunakan visualisasi erosi untuk

memahami risiko dan memprioritaskan alokasi sumber daya untuk konservasi tanah di area yang paling rentan.

5) Tantangan dan Peluang

- a) Ketersediaan dan Akurasi Data: Tantangan utama dalam integrasi data spasial adalah ketersediaan dan kualitas data. Data yang tidak akurat atau tidak lengkap dapat mempengaruhi hasil prediksi erosi.
- b) Penggunaan Teknologi: Dengan kemajuan teknologi dalam penginderaan jauh dan pemrosesan data, peluang untuk meningkatkan akurasi dan efektivitas visualisasi erosi terus berkembang. Ini termasuk penggunaan data real-time untuk pemantauan erosi dinamis.

Integrasi data spasial dan visualisasi erosi dalam SIG memungkinkan analisis yang lebih mendalam dan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam manajemen tanah dan air. Dengan terus berkembangnya teknologi, pendekatan ini akan menjadi semakin penting dalam upaya mitigasi erosi dan pelestarian lingkungan.

b. Pemodelan dan Prediksi Distribusi Erosi

Pemodelan dan prediksi distribusi erosi adalah proses penting dalam memahami bagaimana erosi tanah terjadi di berbagai lokasi dalam suatu wilayah. Dengan pemodelan, kita dapat memperkirakan laju erosi di berbagai titik, mengidentifikasi area yang rentan, dan merencanakan intervensi yang efektif. Berikut adalah langkah-langkah dan konsep kunci dalam pemodelan dan prediksi distribusi erosi:

1) Pengumpulan Data dan Input Model

Pemodelan erosi memerlukan berbagai jenis data sebagai input:

- a) Topografi: Data topografi, biasanya dalam bentuk Model Elevasi Digital (DEM), digunakan untuk menghitung faktor kemiringan dan panjang lereng, yang sangat mempengaruhi laju erosi.
- b) Curah Hujan: Data curah hujan, terutama intensitas dan distribusi temporalnya, penting untuk menghitung erosivitas hujan, yang merupakan faktor utama dalam model seperti USLE dan RUSLE.
- c) Karakteristik Tanah: Informasi tentang jenis tanah, tekstur, struktur, dan erodibilitas (faktor K) digunakan untuk menentukan seberapa mudah tanah tererosi.
- d) Penutupan Lahan: Data penutupan lahan dan vegetasi digunakan untuk menghitung faktor C (faktor penutup lahan) dalam model erosi, yang menunjukkan perlindungan yang diberikan oleh vegetasi terhadap erosi.

2) Pemilihan Model Erosi

Ada berbagai model erosi yang bisa digunakan tergantung pada skala, kompleksitas, dan tujuan penelitian:

- a) USLE/RUSLE: Model ini digunakan untuk memprediksi erosi rata-rata tahunan. Sederhana dan cocok untuk skala besar, tetapi kurang akurat dalam memprediksi peristiwa erosi jangka pendek atau di wilayah dengan topografi kompleks.
- b) WEPP (Water Erosion Prediction Project): Model ini lebih kompleks dan memperhitungkan

dinamika aliran air dan sedimen. Cocok untuk prediksi jangka pendek dan wilayah dengan variasi topografi yang tinggi.

- c) EUROSEM (European Soil Erosion Model): Model fisik yang memperhitungkan hujan badai dan aliran permukaan, ideal untuk memodelkan erosi di daerah pegunungan dengan topografi curam.

3) Proses Pemodelan Erosi

Pemodelan erosi melibatkan beberapa langkah utama:

- a) Kalibrasi Model: Model harus dikalibrasi menggunakan data lapangan untuk memastikan akurasinya dalam kondisi lokal. Ini mungkin melibatkan penyesuaian parameter model berdasarkan data yang tersedia.
- b) Simulasi: Setelah dikalibrasi, model dapat digunakan untuk mensimulasikan erosi tanah di seluruh wilayah studi. Simulasi dapat dilakukan untuk periode waktu tertentu, seperti tahunan atau selama peristiwa hujan tertentu.
- c) Analisis Sensitivitas: Ini melibatkan menguji bagaimana perubahan dalam input model (seperti curah hujan atau penutupan lahan) mempengaruhi hasil erosi. Ini membantu dalam memahami faktor-faktor utama yang mempengaruhi erosi di wilayah tersebut.

4) Prediksi Distribusi Erosi

Prediksi distribusi erosi menunjukkan bagaimana erosi bervariasi di berbagai lokasi dalam wilayah studi:

- a) Peta Risiko Erosi: Hasil dari model erosi digunakan untuk menghasilkan peta yang menunjukkan area dengan laju erosi tinggi, sedang, dan rendah. Peta ini memberikan

visualisasi yang jelas tentang distribusi erosi dan membantu dalam mengidentifikasi hotspot erosi.

- b) Analisis Spasial: Analisis spasial dalam SIG dapat digunakan untuk memahami hubungan antara erosi dan faktor-faktor lain seperti penggunaan lahan, kemiringan lereng, dan pola curah hujan. Ini membantu dalam mengidentifikasi area yang paling rentan terhadap erosi.
- c) Evaluasi Dampak Intervensi: Prediksi distribusi erosi juga dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak dari intervensi konservasi. Misalnya, dengan memodelkan skenario di mana terasering atau vegetasi penutup ditingkatkan, kita dapat memprediksi bagaimana distribusi erosi akan berubah.

5) Aplikasi Prediksi Distribusi Erosi

Prediksi distribusi erosi memiliki banyak aplikasi praktis:

- a) Perencanaan Konservasi Tanah: Informasi distribusi erosi digunakan untuk merencanakan tindakan konservasi yang paling efektif, seperti lokasi untuk terasering, reboisasi, atau penanaman vegetasi penahan erosi.
- b) Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS): Prediksi distribusi erosi di DAS membantu dalam mengidentifikasi sumber sedimen yang berkontribusi terhadap sedimentasi di sungai dan waduk, sehingga langkah-langkah pengelolaan dapat difokuskan pada area yang paling kritis.
- c) Perencanaan Infrastruktur: Sebelum pembangunan infrastruktur seperti jalan, bendungan, atau pemukiman, prediksi distribusi erosi digunakan untuk memastikan bahwa

pembangunan tidak akan meningkatkan risiko erosi yang signifikan.

- 6) Tantangan dan Perkembangan dalam Pemodelan Erosi
 - a) Akurasi Data: Kualitas prediksi erosi sangat bergantung pada akurasi data input. Data yang kurang akurat atau tidak lengkap dapat menghasilkan prediksi yang tidak tepat.
 - b) Kompleksitas Model: Model yang lebih kompleks seperti WEPP atau EUROSEM memberikan prediksi yang lebih akurat tetapi memerlukan lebih banyak data dan pemrosesan yang lebih rumit.
 - c) Integrasi Teknologi: Dengan kemajuan dalam penginderaan jauh dan analisis data spasial, model erosi kini dapat diintegrasikan dengan data real-time, meningkatkan kemampuan prediksi dan respons terhadap erosi.

Pemodelan dan prediksi distribusi erosi adalah alat yang sangat efektif dalam manajemen lahan dan air. Dengan memanfaatkan data spasial dan model erosi, kita dapat mengidentifikasi area yang paling rentan terhadap erosi, merencanakan intervensi yang efektif, dan mengelola dampak lingkungan secara lebih proaktif.

7.2.4 Model Hidrologi Terintegrasi (SWAT)

SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) adalah model hidrologi terintegrasi yang digunakan untuk memprediksi dampak perubahan penggunaan lahan dan iklim terhadap erosi tanah dan kualitas air. Model ini sangat efektif dalam menganalisis dan memprediksi bagaimana perubahan dalam lingkungan, seperti perubahan dalam penggunaan lahan atau pola curah hujan dapat mempengaruhi proses erosi dan kualitas air di suatu wilayah.

SWAT menggabungkan berbagai jenis data lingkungan, termasuk topografi, jenis tanah, curah hujan, dan penggunaan lahan, untuk memodelkan aliran air, transportasi sedimen, dan distribusi polutan. Dengan mempertimbangkan interaksi kompleks antara faktor-faktor ini, SWAT dapat memberikan prediksi yang rinci tentang erosi tanah dan dampaknya terhadap kualitas air, baik pada skala lokal maupun regional.

Keunggulan utama SWAT adalah kemampuannya untuk melakukan simulasi jangka panjang, memungkinkan analisis skenario yang mencakup perubahan iklim atau perubahan penggunaan lahan dalam periode waktu yang panjang. Ini sangat berguna untuk perencanaan penggunaan lahan, pengelolaan sumber daya air, dan implementasi strategi konservasi tanah yang lebih efektif.

SWAT merupakan model kejadian kontinyu untuk skala DAS yang beroperasi secara harian, bulanan maupun tahunan dan dirancang untuk memprediksi dampak pengelolaan terhadap air, sedimen, dan kimia pertanian pada DAS yang tidak memiliki alat pengukuran. Model SWAT berbasis fisik, efisien secara komputerasi, dan mampu membuat simulasi untuk jangka waktu yang panjang. Komponen utama model adalah iklim, tanah, tutupan lahan termasuk pola tanam dan pengelolaan tanaman, kelerengan, suhu dan curah hujan. Dalam SWAT, DAS dibagi menjadi beberapa subbasin, yang kemudian dibagi lagi ke dalam unit respon hidrologi (*Hydrologic Response Units* = HRU) yang memiliki karakteristik tutupan lahan, kelerengan, dan tanah yang homogen. HRU menunjukkan persentase subbasin yang teridentifikasi dan tidak teridentifikasi secara spasial dalam simulasi SWAT atau dengan kata lain DAS dapat dibagi ke dalam subbasin yang memiliki karakteristik tutupan lahan, jenis tanah dan kelerengan yang dominan.

Untuk prediksi secara akurat terhadap debit dan sedimen, siklus hidrologi yang disimulasikan oleh model harus dikonfirmasi dengan proses yang terjadi di dalam DAS. Simulasi hidrologi DAS dapat dipisahkan menjadi dua bagian utama. Bagian pertama adalah siklus hidrologi dari fase lahan, yang mana fase lahan pada siklus hidrologi mengontrol jumlah air, sedimen, unsur hara dan pestisida yang bergerak menuju saluran utama pada masing-masing Sub DAS. Bagian kedua adalah fase air atau penelusuran dari siklus hidrologi yang dapat didefinisikan sebagai pergerakan air, sedimen dan lainnya melalui jaringan sungai dalam DAS menuju ke outlet.

Dalam beberapa tahun terakhir, SWAT telah digunakan untuk berbagai aplikasi pengelolaan DAS Di Indonesia. Raimadoya (2009) menggunakan SWAT dalam penelitian sistem agroforestry sayur-sayuran di DAS Cisadane Kecamatan Nanggung Kabupaten Bogor. SWAT dapat diterima dengan baik dan digunakan secara luas di DAS Citarum dan Cimanuk Jawa Barat investigasi keamanan pangan. SWAT juga telah digunakan untuk menganalisis respon hidrologi dari perubahan penggunaan lahan di Sub DAS Cirasea yang merupakan Hulu DAS Citarum di Provinsi Jawa Barat dan mendapatkan kesimpulan plikasi untuk bahwa perubahan penggunaan lahan yang terjadi di DAS Cirasea mengakibatkan terjadinya perubahan respon hidrologi khususnya aliran permukaan dan aliran dasar (*base flow*). Konversi lahan dari penggunaan lahan yang dapat meresapkan air dengan baik ke dalam tanah menjadi penggunaan lahan yang menyebabkan hilangnya kemampuan tanah dalam meresapkan air mengakibatkan terjadinya peningkatan jumlah curah hujan yang menjadi aliran permukaan.

Model terhadap kondisi adanya dampak perubahan penggunaan lahan pada karakteristik hidrologi. Kegiatan reboisasi selama 2002-2005 di DAS Cimanuk Propinsi Jawa Barat dapat menurunkan limpasan dapat meningkatkan aliran

dasar . SWAT dapat digunakan untuk menemukan dampak perubahan penggunaan lahan hidrologiSimulasi dari setiap seri data penggunaan lahan menunjukkan . permukaan dan (*base flow*)

Terlepas dari hasil kesimpulan beberapa penelitian di atas, beberapa penelitian berbasis SWAT di seluruh dunia dan mengkritisi beberapa kelemahan SWAT dalam pemodelan hidrologi diantaranya:

- 1) Sebagaimana model hidrologi lainnya, SWAT mengasumsikan kondisi tanah adalah statis, yang pada kenyataannya di banyak lokasi tertentu kondisi tanah adalah dinamis seperti perubahan prosentase kandungan bahan organik tanah sehingga perlu pembaharuan database tanah untuk penelitian dengan jangka waktu lebih dari 5 tahun.
- 2) Input database tanaman dalam rangka rekayasa vegetatif kurang luas, sehingga perlu manipulasi model yang diperluas untuk beberapa jenis tanaman kaitannya dengan umur tanaman, sistem tanam, pola percampuran tanaman, dan lain-lain.
- 3) Penggunaan SWAT pada lahan basah seperti daerah rawa gambut juga perlu modifikasi model secara khusus karena model SWAT tidak dapat mendefinisikan sifat-sifat fisik tanah non mineral.

7.3 Evaluasi Metode Prediksi Erosi

Setiap Metode prediksi erosi memiliki keunggulan dan keterbatasannya masing-masing. Pemilihan Metode yang tepat sangat bergantung pada tujuan penelitian, skala waktu, skala ruang, dan ketersediaan data. Metode empiris seperti USLE cocok untuk prediksi skala luas dengan data yang terbatas, namun kurang akurat dalam skenario yang lebih spesifik.

Sebaliknya, model fisik seperti WEPP dan EUROSEM lebih cocok untuk prediksi yang memerlukan ketelitian tinggi, tetapi memerlukan data yang lebih rinci dan kompleks.

7.3.1 Perbandingan Keunggulan dan Keterbatasan Berbagai Metode

Teknologi modern seperti penginderaan jauh dan SIG memberikan fleksibilitas dalam pemantauan erosi secara real-time dan memungkinkan analisis yang lebih mendalam dan komprehensif. Penggunaan teknologi ini juga membuka peluang untuk integrasi berbagai Metode prediksi, sehingga menghasilkan model yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi lingkungan yang dinamis.

Evaluasi dan aplikasi Metode prediksi erosi memerlukan pemahaman mendalam tentang keunggulan dan keterbatasan setiap Metode yang tersedia, serta penyesuaian dengan tujuan penelitian, skala ruang dan waktu, serta ketersediaan data.

1. Metode Empiris:

Metode empiris seperti USLE (Universal Soil Loss Equation) sangat populer untuk prediksi erosi di skala yang luas, terutama karena kesederhanaan dan kebutuhan data yang relatif rendah. USLE efektif digunakan pada wilayah yang besar dengan variasi topografi dan jenis tanah yang tidak terlalu kompleks. Namun, Metode ini memiliki keterbatasan dalam skenario yang lebih spesifik dan dinamis, karena cenderung mengabaikan proses fisik erosi yang lebih rinci dan dapat menghasilkan prediksi yang kurang akurat di tingkat lokal.

2. Model Fisik

Model fisik seperti WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) dan EUROSEM (*European Soil Erosion Model*) menawarkan prediksi yang lebih akurat dengan

mempertimbangkan proses fisik erosi secara detail, termasuk aliran air, transportasi sedimen, dan interaksi antara hujan, tanah, dan vegetasi. Model-model ini cocok digunakan untuk wilayah dengan topografi kompleks atau untuk penelitian yang memerlukan ketelitian tinggi. Namun, mereka memerlukan data yang lebih rinci dan pengolahan yang lebih kompleks, yang bisa menjadi kendala jika data tersebut sulit diperoleh.

7.3.2 Teknologi Modern

Teknologi penginderaan jauh dan SIG telah memberikan fleksibilitas yang besar dalam memantau erosi secara real-time dan memungkinkan analisis spasial yang mendalam. Dengan data dari citra satelit atau drone, serta kemampuan integrasi dan analisis spasial dari SIG, para peneliti dan praktisi dapat mengembangkan model prediksi yang lebih canggih dan sesuai dengan kondisi lingkungan yang dinamis. Teknologi ini juga memungkinkan integrasi berbagai Metode prediksi, yang dapat meningkatkan akurasi dan relevansi model yang dihasilkan.

Pemilihan Metode prediksi erosi yang tepat sangat bergantung pada konteks penelitian atau aplikasi praktis. Metode empiris seperti USLE mungkin cukup untuk analisis skala luas dengan data terbatas, sementara model fisik seperti WEPP dan EUROSEM lebih sesuai untuk prediksi yang memerlukan detail lebih tinggi. Teknologi penginderaan jauh dan SIG menambah dimensi baru dalam pemantauan dan analisis erosi, memungkinkan integrasi Metode yang lebih fleksibel dan akurat. Dalam banyak kasus, kombinasi berbagai Metode dan teknologi dapat memberikan hasil yang paling komprehensif dan informatif.

7.3.3 Faktor Penentu dalam Pemilihan Metode

Pemilihan Metode yang tepat untuk memprediksi erosi tanah sangat penting dalam manajemen lahan dan air yang efektif. Metode yang digunakan harus disesuaikan dengan berbagai kondisi lingkungan dan tujuan yang spesifik. Berikut adalah beberapa faktor penentu yang harus dipertimbangkan dalam pemilihan Metode prediksi erosi:

1. Tujuan Penelitian atau Aplikasi

a. Skala Analisis:

Jika tujuannya adalah untuk memahami erosi pada skala besar (seperti pada tingkat daerah aliran sungai atau regional), Metode empiris seperti USLE atau RUSLE mungkin lebih sesuai. Namun, untuk analisis yang lebih detail pada skala kecil atau lokasi spesifik, model fisik seperti WEPP atau EUROSEM mungkin lebih tepat.

b. Jenis Erosi yang Diprediksi:

Berbagai Metode mungkin lebih cocok untuk jenis erosi tertentu. Misalnya, USLE dan RUSLE lebih fokus pada erosi lembar, sementara model fisik dapat digunakan untuk memprediksi erosi parit, tebing sungai, atau erosi yang disebabkan oleh aliran konsentrasi.

2. Ketersediaan Data

a. Data Lingkungan:

Metode seperti USLE dan RUSLE memerlukan data yang relatif sederhana seperti curah hujan, jenis tanah, dan penutupan lahan. Model fisik, di sisi lain, membutuhkan data yang lebih rinci seperti kecepatan aliran air, tekstur tanah, dan distribusi sedimen, yang mungkin lebih sulit untuk diperoleh.

b. Resolusi Data:

Metode empiris sering kali menggunakan data dengan resolusi yang lebih rendah, sedangkan model fisik memerlukan data dengan resolusi tinggi, seperti data

topografi yang rinci dan pengukuran hidrologi yang spesifik.

3. Kompleksitas Lingkungan

a. Topografi:

Di wilayah dengan topografi yang sederhana, Metode empiris mungkin sudah cukup. Namun, di daerah dengan topografi yang rumit, seperti pegunungan atau wilayah dengan lereng curam, model fisik yang dapat menangkap dinamika aliran air dan sedimen secara lebih rinci mungkin lebih diperlukan.

b. Variabilitas Iklim:

Daerah dengan variabilitas iklim yang tinggi mungkin memerlukan Metode yang mampu menyesuaikan prediksi berdasarkan perubahan cuaca ekstrem, yang lebih mudah dicapai dengan model fisik atau teknologi berbasis real-time.

4. Sumber Daya dan Biaya

a. Ketersediaan Sumber Daya:

Penggunaan model fisik sering kali memerlukan perangkat lunak khusus, sumber daya komputasi, dan tenaga ahli yang berpengalaman, yang mungkin tidak tersedia di semua proyek atau wilayah. Metode empiris lebih sederhana dan dapat digunakan dengan sumber daya yang lebih terbatas.

b. Biaya Implementasi:

Model yang lebih kompleks biasanya memerlukan anggaran yang lebih besar untuk pengumpulan data, kalibrasi model, dan analisis. Jika anggaran terbatas, Metode yang lebih sederhana mungkin lebih sesuai, meskipun mungkin kurang akurat.

5. Durasi dan Skala Waktu

a. Prediksi Jangka Pendek vs. Jangka Panjang:

Untuk prediksi erosi jangka pendek, terutama setelah peristiwa hujan badai, model fisik mungkin lebih tepat. Untuk analisis jangka panjang yang melihat pola

erosi tahunan atau dekade, Metode empiris yang mengandalkan data historis bisa lebih sesuai.

b. Kecepatan Respons:

Jika diperlukan respons cepat, seperti dalam situasi bencana, teknologi pemantauan real-time dan model hidrologi yang dapat memberikan prediksi segera akan lebih efektif.

6. Kemampuan untuk Integrasi Teknologi Penginderaan Jauh dan SIG

Jika ada akses ke teknologi penginderaan jauh dan SIG, Metode yang dapat diintegrasikan dengan data spasial dan analisis real-time, seperti RUSLE yang diimplementasikan dalam GIS, bisa lebih bermanfaat. Model fisik yang kompatibel dengan data real-time juga memungkinkan analisis yang lebih dinamis.

7. Tujuan Konservasi dan Pengelolaan Lahan dan Kebutuhan Tindakan Konservasi

Jika tujuannya adalah untuk merancang dan mengimplementasikan tindakan konservasi yang spesifik, seperti terasering atau pengelolaan vegetasi, model yang dapat mensimulasikan skenario intervensi, seperti SWAT atau WEPP, akan lebih berguna.

Pemilihan Metode prediksi erosi memerlukan pertimbangan berbagai faktor, termasuk tujuan analisis, ketersediaan data, kompleksitas lingkungan, dan sumber daya yang tersedia. Metode yang dipilih harus mampu memberikan informasi yang paling relevan dan akurat untuk mendukung manajemen tanah dan air yang berkelanjutan.

7.4 Aplikasi Metode Prediksi Erosi

Metode prediksi erosi memiliki beragam aplikasi dalam manajemen lahan dan air, konservasi tanah, serta perencanaan pembangunan. Berikut adalah beberapa contoh aplikasi Metode prediksi erosi:

1. Perencanaan Konservasi Tanah

a. Identifikasi Area Rentan:

Metode seperti USLE, RUSLE, dan SWAT digunakan untuk mengidentifikasi area yang rentan terhadap erosi. Informasi ini penting untuk merencanakan tindakan konservasi seperti terasering, penanaman vegetasi penahan erosi, dan penerapan teknik pertanian konservatif.

b. Desain Struktur Pengendalian:

Model fisik seperti WEPP dan EUROSEM dapat digunakan untuk merancang struktur pengendalian erosi seperti saluran air, bendungan penahan sedimen, dan tanggul. Ini membantu memastikan bahwa struktur yang dibangun efektif dalam mengurangi aliran sedimen dan mencegah degradasi lahan.

2. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS)

a. Pemantauan Kualitas Air:

Metode prediksi erosi digunakan untuk memahami bagaimana erosi tanah berkontribusi terhadap sedimentasi di badan air. Ini membantu dalam pengelolaan DAS dengan mengidentifikasi sumber sedimen dan mengimplementasikan praktik terbaik untuk mengurangi erosi.

b. Pengendalian Banjir:

Model hidrologi yang terintegrasi dengan Metode prediksi erosi, seperti SWAT, dapat digunakan untuk memprediksi dampak hujan deras pada erosi tanah dan

aliran sedimen. Informasi ini berguna dalam merancang langkah-langkah pengendalian banjir yang lebih efektif.

3. Perencanaan Penggunaan Lahan

a. Evaluasi Keselamatan Lahan untuk Pembangunan:

Sebelum melakukan pembangunan, seperti jalan, pemukiman, atau infrastruktur lainnya, Metode prediksi erosi digunakan untuk menilai risiko erosi di lokasi yang diusulkan. Ini memastikan bahwa pembangunan tidak akan memicu erosi yang berlebihan atau merusak lingkungan sekitarnya.

b. Zonasi dan Pengaturan Lahan:

Metode seperti RUSLE dapat digunakan untuk menentukan zona lahan berdasarkan tingkat kerentanannya terhadap erosi. Ini membantu pemerintah dan perencana lahan dalam menetapkan regulasi yang mengarahkan penggunaan lahan sesuai dengan kapasitasnya untuk mencegah erosi.

4. Pertanian Berkelanjutan

a. Penilaian Praktik Pengelolaan Lahan:

Petani dapat menggunakan Metode prediksi erosi untuk menilai dampak dari berbagai praktik pengelolaan lahan, seperti rotasi tanaman, penanaman tanaman penutup, dan pengolahan tanah konservatif. Hal ini membantu mereka memilih teknik yang paling efektif untuk mengurangi erosi dan mempertahankan kesuburan tanah.

b. Optimalisasi Penggunaan Pupuk dan Irigasi:

Dengan memahami pola erosi, petani dapat mengoptimalkan penggunaan pupuk dan air irigasi untuk meminimalkan pencucian nutrisi dan sedimen, meningkatkan efisiensi pertanian, dan mengurangi dampak lingkungan.

5. Mitigasi Dampak Perubahan Iklim:

a. Prediksi Dampak Iklim Ekstrem:

Metode seperti MUSLE digunakan untuk memprediksi erosi yang diakibatkan oleh peristiwa cuaca ekstrem, seperti badai atau hujan deras, yang menjadi lebih sering akibat perubahan iklim. Ini membantu dalam merancang strategi adaptasi yang dapat mengurangi risiko erosi dan kerusakan lahan di masa depan.

b. Pengembangan Rencana Adaptasi:

Informasi dari model prediksi erosi digunakan oleh pemerintah dan organisasi non-pemerintah untuk mengembangkan rencana adaptasi perubahan iklim, terutama di daerah yang sangat rentan terhadap erosi akibat perubahan pola curah hujan.

6. Rehabilitasi Lahan Terdegradasi:

a. Restorasi Lahan:

Metode prediksi erosi digunakan dalam proyek restorasi lahan untuk menentukan prioritas intervensi di area yang paling terdegradasi dan merancang tindakan yang paling efektif untuk memulihkan produktivitas tanah.

b. Pemantauan Keberhasilan Proyek:

Setelah tindakan rehabilitasi diterapkan, Metode prediksi erosi membantu memantau keberhasilan proyek dengan melacak perubahan dalam laju erosi dan perbaikan kualitas tanah.

7. Pendidikan dan Pelatihan

a. Meningkatkan Kesadaran:

Metode prediksi erosi dapat digunakan sebagai alat pendidikan untuk meningkatkan kesadaran tentang dampak erosi tanah di kalangan petani, pelajar, dan pembuat kebijakan. Ini dapat mendorong praktik pengelolaan tanah yang lebih baik di masyarakat.

b. Pelatihan Teknis:

Lembaga pendidikan dan pelatihan dapat menggunakan simulasi erosi berbasis model untuk melatih petani, teknisi lapangan, dan perencana lingkungan tentang bagaimana cara memprediksi dan mengelola erosi secara efektif.

Aplikasi Metode prediksi erosi sangat luas dan memainkan peran penting dalam menjaga keberlanjutan lingkungan, mendukung pertanian yang berkelanjutan, serta melindungi infrastruktur dan sumber daya alam dari kerusakan yang disebabkan oleh erosi.

7.4.1 Studi Kasus Penggunaan USLE di Skala Luas

Penggunaan Universal Soil Loss Equation (USLE) untuk memprediksi erosi tanah di skala luas telah diterapkan di berbagai proyek manajemen lahan dan air di seluruh dunia. Berikut adalah salah satu contoh studi kasus yang menunjukkan bagaimana USLE digunakan untuk memahami dan mengelola erosi di wilayah besar:

Studi Kasus: Manajemen Erosi di Daerah Aliran Sungai (DAS) Yangtze, Tiongkok

1. Latar Belakang

Daerah Aliran Sungai (DAS) Yangtze merupakan salah satu yang terbesar di dunia dan penting bagi kehidupan jutaan orang di Tiongkok. Namun, DAS ini menghadapi masalah serius terkait erosi tanah, terutama di wilayah hulu yang berbukit dan rentan terhadap hujan lebat. Erosi di daerah ini tidak hanya menyebabkan degradasi lahan pertanian tetapi juga meningkatkan sedimentasi di Sungai Yangtze, yang mempengaruhi kualitas air dan kapasitas waduk, serta meningkatkan risiko banjir.

2. Metodologi

Untuk mengatasi masalah ini, para peneliti dan manajer lahan menggunakan USLE sebagai alat utama dalam memetakan dan memprediksi tingkat erosi di seluruh DAS. Pendekatan yang digunakan mencakup:

Pengumpulan Data: Data mengenai curah hujan, jenis tanah, topografi, dan penggunaan lahan dikumpulkan dari berbagai sumber, termasuk data lapangan dan citra satelit.

Penerapan USLE: USLE diterapkan untuk menghitung tingkat erosi tanah tahunan di berbagai sub-wilayah DAS. Setiap faktor dalam persamaan (R untuk erosivitas hujan, K untuk erodibilitas tanah, LS untuk panjang dan kemiringan lereng, C untuk penutup lahan, dan P untuk praktik pengelolaan) diestimasi dan diintegrasikan ke dalam model.

Pemetaan Risiko Erosi: Hasil dari USLE digunakan untuk menghasilkan peta risiko erosi di seluruh DAS Yangtze. Peta ini menunjukkan area dengan tingkat erosi tinggi yang memerlukan perhatian khusus dalam pengelolaan lahan.

3. Hasil dan Implementasi

- 1) **Identifikasi Hotspot Erosi:** Penerapan USLE berhasil mengidentifikasi hotspot erosi di wilayah hulu DAS Yangtze, terutama di daerah pegunungan yang curam dengan praktik pertanian intensif.
- 2) **Tindakan Konservasi:** Berdasarkan hasil USLE, berbagai tindakan konservasi diterapkan, termasuk penanaman vegetasi penutup, pembuatan terasering di lereng curam, dan pengelolaan air yang lebih baik untuk mengurangi aliran permukaan.
- 3) **Pengurangan Sedimentasi:** Implementasi tindakan konservasi yang didorong oleh hasil USLE secara signifikan mengurangi laju sedimentasi di Sungai

Yangtze, meningkatkan kualitas air, dan memperpanjang umur waduk di sepanjang sungai.

4. Keberlanjutan dan Replikasi

Studi kasus ini menunjukkan bahwa USLE dapat menjadi alat yang sangat efektif dalam skala besar untuk merencanakan dan mengimplementasikan strategi manajemen erosi. Kesederhanaan dan fleksibilitas USLE memungkinkan adaptasi dan penerapan di wilayah lain yang menghadapi tantangan serupa, menjadikannya model yang dapat direplikasi untuk DAS besar lainnya di seluruh dunia.

5. Kesimpulan

Penggunaan USLE di DAS Yangtze menunjukkan bagaimana Metode ini dapat diterapkan secara efektif dalam skala luas untuk mengidentifikasi, mengelola, dan mengurangi erosi tanah. Keberhasilan ini juga menyoroti pentingnya pemetaan risiko dan tindakan konservasi yang tepat sasaran dalam upaya melestarikan sumber daya tanah dan air di wilayah-wilayah kritis.

7.4.2 Implementasi WEPP dan EUROSEM di Wilayah dengan Topografi Kompleks

Model fisik seperti WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) dan EUROSEM (*European Soil Erosion Model*) sangat cocok untuk digunakan di wilayah dengan topografi yang kompleks, seperti daerah pegunungan, lembah curam, atau lanskap dengan variasi elevasi yang signifikan. Berikut ini adalah langkah-langkah implementasi dan contoh penerapan kedua model tersebut di wilayah dengan topografi kompleks:

1. Pengumpulan Data Awal

Data yang akurat dan rinci sangat penting untuk implementasi WEPP dan EUROSEM, terutama di wilayah dengan topografi yang kompleks. Data yang diperlukan meliputi:

- a. Model Elevasi Digital (DEM):
Data DEM resolusi tinggi untuk memetakan kemiringan, panjang lereng, dan bentuk lahan secara rinci.
- b. Karakteristik Tanah:
Data tentang tekstur, struktur, erodibilitas, dan kelembaban tanah.
- c. Curah Hujan dan Hidrologi:
Informasi tentang intensitas curah hujan, distribusi temporal, dan pola aliran permukaan.
- d. Penutupan Lahan dan Vegetasi:
Data tentang jenis vegetasi, penutupan lahan, dan praktik pengelolaan lahan.

2. Kalibrasi dan Penyesuaian Model

Kedua model memerlukan kalibrasi yang teliti untuk memastikan prediksi yang akurat dalam kondisi topografi kompleks:

- a. WEPP:
WEPP memerlukan kalibrasi untuk faktor-faktor seperti infiltrasi, transportasi sedimen, dan aliran permukaan yang dipengaruhi oleh kemiringan lereng yang curam.
Model ini juga mengintegrasikan data hidrologi untuk memprediksi aliran air yang sangat dinamis di wilayah pegunungan.

Penyesuaian dilakukan untuk mempertimbangkan pengaruh topografi terhadap aliran air dan distribusi sedimen, yang sangat penting di area dengan variasi ketinggian yang tajam.

b. EUROSEM:

EUROSEM, yang dirancang untuk mensimulasikan erosi selama peristiwa hujan badai, juga memerlukan kalibrasi untuk kondisi spesifik wilayah, termasuk interaksi hujan, aliran air, dan sedimen.

Model ini harus disesuaikan dengan dinamika curah hujan yang tinggi dan perubahan aliran permukaan yang sering terjadi di wilayah berbukit.

3. Proses Simulasi

a. WEPP:

Setelah kalibrasi, WEPP digunakan untuk mensimulasikan aliran air dan erosi di wilayah dengan topografi kompleks. Model ini dapat memprediksi erosi pada skala temporal yang beragam, dari harian hingga tahunan.

WEPP juga mensimulasikan distribusi sedimen di sepanjang lereng dan sepanjang jalur aliran, yang sangat penting untuk memahami pola erosi di wilayah pegunungan.

b. EUROSEM:

EUROSEM digunakan untuk memodelkan peristiwa hujan badai dan dampaknya terhadap erosi. Model ini cocok untuk memahami bagaimana hujan intensitas tinggi menyebabkan aliran air yang kuat dan erosi cepat di lereng curam.

Model ini memberikan hasil berupa prediksi erosi dan distribusi sedimen selama dan setelah peristiwa hujan, yang berguna untuk merencanakan tindakan mitigasi.

4. Visualisasi Hasil dan Pemetaan

Hasil dari WEPP dan EUROSEM diintegrasikan ke dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk memvisualisasikan distribusi erosi:

a. Peta Risiko Erosi:

Peta ini menunjukkan area dengan laju erosi tinggi yang memerlukan perhatian khusus dalam manajemen lahan. Peta risiko juga memetakan potensi akumulasi sedimen di lembah atau badan air di wilayah tersebut.

b. Model 3D:

Penggunaan model 3D membantu memvisualisasikan bagaimana topografi yang kompleks mempengaruhi aliran air dan distribusi erosi, memberikan wawasan lebih mendalam tentang intervensi yang mungkin diperlukan.

5. Aplikasi dan Tindakan Konservasi

Implementasi hasil model WEPP dan EUROSEM memungkinkan perencanaan dan penerapan langkah-langkah konservasi tanah yang lebih tepat sasaran:

a. Terasering dan Struktur Pengendalian Erosi:

Berdasarkan hasil simulasi, terasering dapat dirancang untuk mengurangi aliran air permukaan dan mengurangi risiko erosi di lereng curam.

b. Reboisasi dan Penanaman Vegetasi Penahan:

Area yang teridentifikasi sebagai hotspot erosi dapat direboisasi atau ditanami dengan vegetasi yang dapat menahan tanah dan mengurangi laju erosi.

c. Desain Drainase dan Pengelolaan Air:

Infrastruktur drainase dan pengelolaan air di wilayah dengan topografi kompleks dapat dirancang untuk mengarahkan aliran air dengan aman, mencegah erosi parah dan pengendapan sedimen.

6. Evaluasi dan Pemantauan

Setelah tindakan konservasi diterapkan, pemantauan lanjutan menggunakan WEPP dan EUROSEM dapat dilakukan untuk mengevaluasi efektivitas langkah-langkah yang telah diambil:

- a. Pemantauan Erosi:
Model digunakan untuk memantau perubahan dalam laju erosi dari waktu ke waktu, memungkinkan penyesuaian strategi jika diperlukan.
- b. Penyesuaian Kebijakan:
Hasil pemantauan dapat digunakan untuk menginformasikan kebijakan manajemen lahan, memastikan bahwa tindakan konservasi tetap efektif seiring perubahan iklim atau penggunaan lahan.

7. Studi Kasus Implementasi

- a. Pegunungan Alpen, Eropa:
EUROSEM digunakan untuk memprediksi erosi di wilayah pegunungan yang terpapar hujan deras dan topografi curam. Hasilnya digunakan untuk merencanakan terasering dan reboisasi di lereng-lereng curam, mengurangi laju erosi secara signifikan.
- b. Sierra Nevada, Amerika Serikat:

WEPP diterapkan untuk memodelkan erosi di lereng curam yang rentan terhadap kebakaran hutan. Model ini membantu merencanakan pemulihan lahan pasca-kebakaran dengan teknik konservasi yang menargetkan area dengan risiko erosi tertinggi.

Implementasi WEPP dan EUROSEM di wilayah dengan topografi kompleks memberikan alat yang sangat kuat untuk memahami dan mengelola risiko erosi. Dengan memanfaatkan simulasi yang akurat dan visualisasi yang informatif, model ini memungkinkan

tindakan konservasi yang tepat sasaran dan efektif dalam melindungi lahan dari degradasi.

7.4.3 Penggunaan Teknologi Penginderaan Jauh dan SIG dalam Konservasi Tanah

Penginderaan jauh (*remote sensing*) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah menjadi alat yang sangat berharga dalam upaya konservasi tanah. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan, analisis, dan visualisasi data yang diperlukan untuk memahami kondisi lahan, memprediksi risiko erosi, dan merencanakan tindakan konservasi yang efektif. Berikut ini adalah beberapa cara di mana teknologi penginderaan jauh dan SIG digunakan dalam konservasi tanah:

1. Pengumpulan Data Lingkungan

Penginderaan jauh memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara luas dan kontinu tanpa harus berada di lokasi secara langsung. Ini mencakup:

a. Citra Satelit:

Citra satelit memberikan informasi tentang penutupan lahan, penggunaan lahan, vegetasi, dan perubahan topografi dari waktu ke waktu. Data ini penting untuk memantau area yang rentan terhadap erosi dan degradasi tanah.

b. Pesawat Tak Berawak (*Drone*):

Drone dilengkapi dengan kamera resolusi tinggi dan sensor dapat digunakan untuk pemetaan rinci di area yang lebih kecil atau sulit dijangkau. Data yang diperoleh dari drone membantu dalam pemetaan erosi, analisis drainase, dan evaluasi tindakan konservasi.

c. Penginderaan Multispektral dan Hiperspektral:

Sensor multispektral dan hiperspektral pada satelit atau *drone* memungkinkan analisis kesehatan vegetasi, kelembapan tanah, dan tekstur tanah. Data ini

digunakan untuk mengidentifikasi area yang membutuhkan intervensi konservasi, seperti reboisasi atau penanaman vegetasi penahan erosi.

2. Integrasi Data dengan Sistem Informasi Geografis (SIG)

SIG adalah platform yang memungkinkan integrasi berbagai jenis data spasial untuk analisis dan visualisasi:

a. **Layering Data:**

Dalam SIG, data dari penginderaan jauh digabungkan dengan data lain seperti topografi, curah hujan, jenis tanah, dan penggunaan lahan. Layering ini memungkinkan analisis multifaktorial yang membantu dalam memahami interaksi antara berbagai elemen yang mempengaruhi erosi dan degradasi tanah.

b. **Pemetaan Risiko Erosi:**

SIG digunakan untuk membuat peta risiko erosi berdasarkan analisis data yang diintegrasikan. Peta ini menunjukkan area dengan tingkat risiko erosi tinggi, sedang, dan rendah, yang kemudian dapat digunakan untuk merencanakan tindakan konservasi tanah secara lebih efektif.

c. **Analisis Spasial:**

SIG memungkinkan analisis spasial yang mendalam, seperti identifikasi hotspot erosi, analisis drainase alami, dan hubungan antara pola penggunaan lahan dengan tingkat erosi. Ini membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih tepat mengenai tindakan konservasi yang harus diambil.

3. Prediksi dan Pemodelan Erosi

Penginderaan jauh dan SIG mendukung prediksi dan pemodelan erosi yang lebih akurat:

a. Integrasi dengan Model Erosi:

Data yang diperoleh dari penginderaan jauh dan diproses melalui SIG dapat digunakan sebagai input dalam model erosi seperti USLE, RUSLE, atau WEPP. Model ini kemudian memprediksi laju erosi berdasarkan berbagai faktor lingkungan yang telah diidentifikasi.

b. Simulasi Skenario Konservasi:

SIG memungkinkan simulasi skenario konservasi yang berbeda, seperti perubahan penggunaan lahan atau implementasi teknik konservasi baru. Ini memberikan gambaran tentang bagaimana tindakan tersebut dapat mempengaruhi laju erosi di masa depan.

4. Pemantauan dan Evaluasi

Penginderaan jauh dan SIG memainkan peran penting dalam pemantauan berkelanjutan dan evaluasi efektivitas program konservasi tanah:

a. Pemantauan Perubahan Lahan:

Dengan penginderaan jauh, perubahan penutupan lahan dan kondisi tanah dapat dipantau secara terus-menerus. Ini memungkinkan deteksi dini degradasi lahan dan erosi, sehingga tindakan korektif dapat diambil segera.

b. Evaluasi Efektivitas Konservasi:

Setelah tindakan konservasi diterapkan, SIG digunakan untuk memantau perubahan laju erosi dan kondisi tanah. Evaluasi ini membantu dalam menilai keberhasilan program konservasi dan membuat penyesuaian yang diperlukan.

5. Visualisasi dan Komunikasi

Salah satu keunggulan SIG adalah kemampuannya untuk membuat visualisasi data yang informatif dan mudah dipahami:

a. Peta Tematik

Peta tematik yang dihasilkan oleh SIG, seperti peta risiko erosi, peta drainase, atau peta perubahan vegetasi, memudahkan komunikasi informasi kepada pembuat kebijakan, manajer lahan, dan masyarakat umum.

b. Model 3D dan Animasi

Model 3D dari topografi dan simulasi erosi yang dibuat melalui SIG dapat membantu visualisasi yang lebih realistis tentang bagaimana erosi terjadi di lapangan. Ini berguna untuk pendidikan dan pelatihan serta untuk mendukung argumen dalam perencanaan dan pengambilan keputusan.

6. Aplikasi Praktis dalam Konservasi Tanah

Beberapa aplikasi praktis dari penginderaan jauh dan SIG dalam konservasi tanah meliputi:

a. Perencanaan Reboisasi:

SIG membantu mengidentifikasi area yang paling membutuhkan reboisasi untuk mengurangi erosi, serta merencanakan lokasi dan jenis vegetasi yang paling efektif.

b. Manajemen Daerah Aliran Sungai (DAS):

Penginderaan jauh digunakan untuk memantau kesehatan DAS, mengidentifikasi sumber sedimentasi, dan merencanakan intervensi untuk menjaga kualitas air dan mengurangi erosi.

c. Pemetaan Infrastruktur Konservasi:

SIG membantu dalam merencanakan infrastruktur konservasi seperti terasering, bendungan penahan sedimen, dan saluran drainase, memastikan bahwa mereka ditempatkan di lokasi yang paling efektif.

Teknologi penginderaan jauh dan SIG adalah alat yang sangat kuat dalam konservasi tanah, memungkinkan pemantauan yang lebih baik, analisis yang lebih mendalam, dan tindakan yang lebih tepat sasaran. Dengan penggunaan teknologi ini, upaya konservasi tanah dapat ditingkatkan secara signifikan, mendukung keberlanjutan lingkungan dan produktivitas lahan di masa depan.

7.5 Peran Teknologi dalam Pengembangan Metode Prediksi Erosi

Teknologi telah memainkan peran penting dalam pengembangan dan peningkatan metode prediksi erosi tanah. Dengan kemajuan teknologi, metode prediksi menjadi lebih akurat, efisien, dan dapat diterapkan dalam skala yang lebih luas. Berikut adalah beberapa cara teknologi berkontribusi terhadap pengembangan metode prediksi erosi:

1. Penginderaan Jauh (*Remote Sensing*)

Penginderaan jauh memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara luas dan berkelanjutan, yang sangat penting untuk prediksi erosi:

a. Citra Satelit dan Drone:

Penginderaan jauh menggunakan citra satelit dan drone memberikan informasi rinci tentang topografi, penutupan lahan, dan perubahan penggunaan lahan dari waktu ke waktu. Data ini menjadi input utama dalam model erosi, memungkinkan prediksi yang lebih akurat dan dinamis.

b. Penginderaan Multispektral:

Sensor multispektral pada satelit atau drone dapat mengukur kesehatan vegetasi dan kelembaban tanah, yang penting dalam menentukan area yang rentan

terhadap erosi. Data ini membantu dalam penyesuaian model erosi berdasarkan kondisi lapangan yang aktual.

2. Sistem Informasi Geografis (SIG)

SIG memfasilitasi integrasi dan analisis data spasial dari berbagai sumber, memungkinkan pemodelan dan visualisasi erosi yang lebih efektif:

a. Integrasi Data:

SIG memungkinkan penggabungan berbagai layer data seperti DEM (Digital Elevation Model), jenis tanah, curah hujan, dan penutupan lahan. Integrasi ini memudahkan analisis multifaktorial yang kompleks dan memungkinkan prediksi erosi yang lebih komprehensif.

b. Pemetaan Risiko Erosi:

Dengan SIG, hasil prediksi erosi dapat divisualisasikan dalam bentuk peta risiko erosi. Peta ini menunjukkan area yang rentan terhadap erosi dan digunakan untuk perencanaan konservasi tanah yang lebih tepat sasaran.

c. Analisis Spasial dan Temporal:

SIG memungkinkan analisis spasial untuk mengidentifikasi pola erosi dan perubahan distribusi erosi dari waktu ke waktu. Ini membantu dalam memahami dampak jangka panjang dari faktor-faktor lingkungan dan intervensi manusia terhadap erosi tanah.

3. Model Erosi Berbasis Komputer

Teknologi komputasi telah memungkinkan pengembangan model erosi yang lebih kompleks dan akurat:

a. Model Fisik:

Model seperti WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) dan EUROSEM (*European Soil Erosion Model*) menggunakan algoritma yang kompleks untuk

mensimulasikan proses erosi dengan mempertimbangkan dinamika aliran air, transportasi sedimen, dan interaksi antara tanah dan vegetasi. Ini memberikan prediksi yang lebih rinci dan spesifik untuk wilayah dengan topografi yang rumit.

b. **Pemodelan Dinamis:**

Teknologi komputasi memungkinkan simulasi dinamis yang dapat memperhitungkan perubahan kondisi lingkungan, seperti perubahan curah hujan akibat perubahan iklim. Ini membantu dalam meramalkan bagaimana erosi tanah dapat berkembang di masa depan dan bagaimana tindakan mitigasi dapat diterapkan.

4. Big Data dan Analisis Prediktif

Penggunaan big data dan analisis prediktif semakin penting dalam metode prediksi erosi:

a. **Pengolahan Data Skala Besar:**

Dengan teknologi big data, sejumlah besar data lingkungan dapat diproses secara efisien untuk memodelkan erosi di skala besar, seperti di seluruh daerah aliran sungai atau wilayah regional.

b. **Pembelajaran Mesin (*Machine Learning*):**

Teknik pembelajaran mesin dapat diterapkan untuk meningkatkan akurasi model prediksi erosi. Model yang dilatih dengan dataset besar dapat mengenali pola erosi yang kompleks dan menghasilkan prediksi yang lebih baik di berbagai kondisi lingkungan.

c. **Analisis *Real-Time*:**

Teknologi big data memungkinkan analisis real-time dari data yang dikumpulkan melalui sensor dan penginderaan jauh, memberikan informasi langsung tentang kondisi lapangan yang dapat digunakan untuk intervensi cepat dalam kasus erosi yang parah.

5. Simulasi dan Visualisasi 3D

Teknologi simulasi dan visualisasi 3D memberikan cara baru untuk memahami dan mengomunikasikan risiko erosi:

a. Model 3D:

Model 3D dari lanskap, yang dibuat dari data topografi dan prediksi erosi, memungkinkan visualisasi yang lebih realistis tentang bagaimana erosi terjadi dan bagaimana intervensi konservasi dapat mengubah pola erosi.

b. Simulasi Peristiwa:

Simulasi peristiwa erosi seperti hujan badai dapat dibuat untuk menunjukkan dampak langsung dari curah hujan ekstrem terhadap laju erosi. Ini sangat berguna untuk perencanaan tindakan mitigasi di daerah yang rentan terhadap bencana alam.

c. *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR):

Teknologi VR dan AR dapat digunakan untuk memberikan pengalaman interaktif tentang erosi tanah dan konservasi, baik untuk pelatihan profesional maupun edukasi masyarakat.

6. Sistem Peringatan Dini

Teknologi juga memainkan peran penting dalam pengembangan sistem peringatan dini untuk erosi dan tanah longsor:

a. Sistem Pemantauan Berbasis Sensor:

Sensor yang dipasang di lapangan dapat memantau kelembapan tanah, curah hujan, dan pergerakan tanah secara *real-time*. Data ini digunakan untuk memprediksi erosi dan memberikan peringatan dini sebelum erosi atau longsor terjadi.

b. Integrasi dengan *Mobile Applications*:

Aplikasi mobile yang terhubung dengan sistem pemantauan dapat memberikan peringatan dini kepada masyarakat dan pihak berwenang, memungkinkan mereka untuk mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan.

Teknologi telah merevolusi metode prediksi erosi, membuatnya lebih akurat, efisien, dan dapat diterapkan dalam berbagai skala. Dengan penginderaan jauh, SIG, model komputer, *big data*, dan sistem peringatan dini, metode prediksi erosi terus berkembang, mendukung upaya konservasi tanah yang lebih efektif dan berkelanjutan. Penggunaan teknologi ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam mengelola lahan dan air, menjaga kelestarian lingkungan, dan melindungi sumber daya alam dari degradasi.

7.5.1 Integrasi Penginderaan Jauh dan SIG dengan Model Prediksi Erosi

Integrasi penginderaan jauh (*remote sensing*) dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan model prediksi erosi memungkinkan analisis yang lebih akurat, efisien, dan komprehensif dalam memahami dan mengelola erosi tanah. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan data yang luas dan detail, yang kemudian diintegrasikan dalam SIG untuk digunakan dalam model prediksi. Berikut adalah cara integrasi ini diterapkan dalam konservasi tanah dan manajemen lahan:

1. Pengumpulan Data Lingkungan melalui Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh memungkinkan pengumpulan data lingkungan dari skala luas dengan detail yang tinggi:

- a. Citra Satelit dan *Drone*:
Citra satelit memberikan data tentang penutupan lahan, perubahan penggunaan lahan, kesehatan vegetasi, dan topografi. *Drone* dapat mengumpulkan data resolusi tinggi di area yang lebih spesifik atau sulit dijangkau.
- b. Sensor Multispektral dan Hiperspektral:
Sensor ini digunakan untuk mengukur indeks vegetasi (seperti NDVI), kelembapan tanah, dan tekstur tanah. Informasi ini sangat penting untuk menentukan kerentanan lahan terhadap erosi.
- c. Model Elevasi Digital (DEM):
DEM yang diperoleh dari penginderaan jauh memberikan informasi topografi, seperti kemiringan lereng dan elevasi, yang digunakan dalam model erosi untuk menghitung faktor kemiringan dan panjang lereng.

2. Integrasi Data dalam Sistem Informasi Geografis (SIG)

SIG digunakan untuk mengintegrasikan dan menganalisis data yang dikumpulkan dari penginderaan jauh:

- a. Pengelolaan Data Spasial:
Data dari berbagai sumber seperti DEM, citra satelit, dan data tanah diintegrasikan dalam SIG. Layering data ini memungkinkan analisis menyeluruh tentang bagaimana faktor-faktor yang berbeda mempengaruhi erosi.
- b. Pemetaan Risiko Erosi:
SIG digunakan untuk membuat peta risiko erosi berdasarkan analisis data yang diintegrasikan. Peta ini menunjukkan area dengan potensi erosi tinggi, sedang, dan rendah, serta membantu dalam perencanaan intervensi konservasi.

c. Analisis Spasial:

SIG memungkinkan analisis spasial yang kompleks, seperti mengidentifikasi hubungan antara curah hujan, vegetasi, dan topografi dengan laju erosi. Analisis ini penting untuk memahami faktor utama yang mempengaruhi erosi di suatu wilayah.

3. Implementasi Model Prediksi Erosi

Data yang diintegrasikan dalam SIG digunakan sebagai input dalam model prediksi erosi seperti USLE, RUSLE, WEPP, dan EUROSEM:

a. USLE/RUSLE:

Model ini menggunakan data curah hujan, jenis tanah, kemiringan lereng, dan penutupan lahan yang dihasilkan dari SIG untuk menghitung laju erosi rata-rata tahunan. Integrasi dengan SIG memungkinkan prediksi erosi di berbagai skala, dari ladang individu hingga seluruh DAS.

b. WEPP:

Model fisik ini menggunakan data topografi dari DEM, data hidrologi, dan data tanah yang diintegrasikan dalam SIG untuk mensimulasikan aliran air, transportasi sedimen, dan proses erosi. WEPP cocok digunakan di wilayah dengan topografi kompleks dan bervariasi.

c. EUROSEM:

Model ini dirancang untuk memprediksi erosi selama peristiwa hujan badai. Data curah hujan intensitas tinggi dan topografi dari SIG digunakan untuk memodelkan aliran permukaan dan transportasi sedimen selama peristiwa cuaca ekstrem.

4. Simulasi dan Prediksi Erosi

Dengan data yang terintegrasi dan model yang diimplementasikan, prediksi erosi dapat dilakukan:

a. Prediksi Distribusi Erosi:

Model prediksi yang terintegrasi dengan SIG menghasilkan peta distribusi erosi, yang menunjukkan area yang paling rentan terhadap erosi. Peta ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi hotspot erosi dan prioritas tindakan konservasi.

b. Simulasi Skenario Konservasi:

SIG memungkinkan simulasi berbagai skenario konservasi, seperti penanaman vegetasi penutup atau penerapan terasering. Simulasi ini memberikan wawasan tentang bagaimana intervensi tersebut dapat mengurangi laju erosi di masa depan.

5. Visualisasi dan Komunikasi Hasil

Hasil dari integrasi penginderaan jauh, SIG, dan model prediksi dapat divisualisasikan untuk mendukung pengambilan keputusan:

a. Peta Tematik:

Peta yang dihasilkan oleh SIG menunjukkan distribusi risiko erosi, perubahan penggunaan lahan, dan dampak potensial dari intervensi konservasi. Peta ini mudah dipahami dan digunakan oleh pembuat kebijakan, manajer lahan, dan masyarakat umum.

b. Model 3D:

Visualisasi 3D dari topografi dan erosi membantu memahami dampak erosi di lapangan dan mempermudah perencanaan tindakan konservasi yang lebih efektif.

c. Animasi Dinamis:

Animasi yang menunjukkan perubahan laju erosi dari waktu ke waktu atau selama peristiwa cuaca ekstrem membantu dalam edukasi dan pelatihan tentang risiko erosi dan pentingnya konservasi tanah.

6. Aplikasi dalam Konservasi Tanah

Integrasi teknologi ini diterapkan dalam berbagai proyek konservasi tanah:

a. Perencanaan Reboisasi:

Data dari penginderaan jauh dan SIG digunakan untuk merencanakan lokasi dan jenis vegetasi yang paling efektif untuk reboisasi guna mengurangi erosi.

b. Manajemen Daerah Aliran Sungai (DAS):

Integrasi ini membantu dalam mengidentifikasi sumber utama sedimen dan merencanakan tindakan untuk mengurangi sedimentasi di sungai dan waduk.

c. Evaluasi Efektivitas Konservasi:

Setelah tindakan konservasi diterapkan, SIG dan model prediksi digunakan untuk memantau dan mengevaluasi efektivitas intervensi, memungkinkan penyesuaian strategi jika diperlukan.

Integrasi penginderaan jauh dan SIG dengan model prediksi erosi memberikan alat yang sangat kuat untuk menganalisis, memprediksi, dan mengelola erosi tanah secara efektif. Dengan teknologi ini, data yang akurat dapat dikumpulkan dan diolah untuk menghasilkan prediksi erosi yang tepat sasaran, mendukung upaya konservasi tanah yang berkelanjutan dan berbasis data. Teknologi ini memungkinkan respons yang lebih cepat dan lebih efektif terhadap ancaman erosi, melindungi lahan dari degradasi, dan menjaga keseimbangan ekosistem.

7.5.2 Tantangan dan Peluang dalam Menggunakan Teknologi Canggih untuk Prediksi Erosi

Penggunaan teknologi canggih seperti penginderaan jauh, Sistem Informasi Geografis (SIG), model prediksi erosi, dan analisis *big data* telah merevolusi cara kita memantau dan mengelola erosi tanah. Namun, penerapan teknologi ini juga menghadapi berbagai tantangan, yang sekaligus membuka peluang untuk pengembangan lebih lanjut. Berikut adalah beberapa tantangan dan peluang dalam menggunakan teknologi canggih untuk prediksi erosi:

1. Tantangan dalam Menggunakan Teknologi Canggih

a. Ketersediaan dan Kualitas Data

1) Tantangan: Teknologi canggih seperti penginderaan jauh dan model prediksi memerlukan data yang akurat dan berkualitas tinggi. Di banyak daerah, terutama di negara berkembang atau wilayah terpencil, ketersediaan data yang berkualitas tinggi seringkali terbatas. Data yang tersedia mungkin tidak memiliki resolusi yang cukup atau tidak diperbarui secara rutin, yang dapat mengurangi akurasi prediksi erosi.

2) Solusi: Mengembangkan program pengumpulan data yang lebih terstruktur dan menggunakan sumber data alternatif seperti *drone* untuk daerah yang sulit dijangkau. Penggunaan teknologi seperti *crowdsourcing* data juga bisa menjadi solusi untuk memperkaya dataset.

b. Biaya dan Sumber Daya

1) Tantangan: Penggunaan teknologi canggih sering kali memerlukan investasi awal yang signifikan dalam hal perangkat keras, perangkat lunak, dan pelatihan sumber daya manusia. Ini bisa menjadi kendala besar bagi organisasi dengan anggaran terbatas, seperti pemerintah daerah atau LSM.

- 2) Solusi: Memanfaatkan teknologi *open-source* dan perangkat lunak gratis seperti QGIS untuk SIG, serta mengembangkan kemitraan publik-swasta untuk berbagi sumber daya dan biaya. Subsidi atau dukungan pemerintah untuk proyek-proyek konservasi juga dapat membantu meringankan beban biaya.

c. Kompleksitas Teknologi

- 1) Tantangan: Teknologi canggih sering kali memerlukan keahlian teknis yang tinggi untuk mengoperasikan, memproses data, dan menginterpretasikan hasilnya. Ini bisa menjadi penghalang bagi banyak pengguna potensial yang tidak memiliki latar belakang teknis.
- 2) Solusi: Mengadakan pelatihan dan lokakarya untuk membekali pengguna dengan keterampilan yang dibutuhkan. Selain itu, pengembangan antarmuka pengguna yang lebih ramah dan otomatisasi proses analisis dapat membantu mengurangi kompleksitas.

d. Integrasi Data yang Berbeda

- 1) Tantangan: Integrasi data dari berbagai sumber (seperti citra satelit, data hidrologi, dan data lapangan) dalam SIG bisa menjadi kompleks. Data yang berasal dari berbagai format, resolusi, atau sumber yang tidak konsisten dapat menimbulkan tantangan dalam pemrosesan dan analisis.
- 2) Solusi: Pengembangan standar data yang lebih baik dan alat konversi yang dapat mengintegrasikan berbagai format data dengan mudah. Kolaborasi antarorganisasi untuk menyelaraskan metode pengumpulan dan pengelolaan data juga dapat meningkatkan efisiensi.

- e. Ketergantungan pada Infrastruktur Teknologi
 - 1) Tantangan: Teknologi canggih memerlukan infrastruktur teknologi yang andal, termasuk akses ke internet, penyimpanan data, dan komputasi awan. Di daerah dengan infrastruktur yang kurang berkembang, ini bisa menjadi hambatan signifikan.
 - 2) Solusi: Menggunakan solusi teknologi yang lebih sederhana dan terdesentralisasi, seperti penyimpanan data lokal yang dapat disinkronkan dengan cloud ketika tersedia koneksi internet. Pengembangan teknologi berbasis offline juga dapat mengatasi masalah ini.

2. Peluang dalam Menggunakan Teknologi Canggih

- a. Peningkatan Akurasi dan Efisiensi
 - 1) Peluang: Teknologi canggih memungkinkan pengumpulan data yang lebih akurat dan pemodelan yang lebih rinci, yang pada gilirannya meningkatkan akurasi prediksi erosi. Efisiensi juga meningkat karena data dapat dikumpulkan dan diproses lebih cepat, memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap masalah erosi.
 - 2) Implementasi: Integrasi data real-time dari sensor tanah, curah hujan, dan citra satelit ke dalam model prediksi untuk memberikan peringatan dini dan tindakan konservasi yang lebih cepat.
- b. Pengembangan Model Prediksi yang Lebih Baik
 - 1) Peluang: Penggunaan big data dan machine learning dalam analisis data erosi membuka peluang untuk mengembangkan model prediksi yang lebih canggih dan adaptif. Model-model ini dapat mempelajari pola dari data historis dan memprediksi skenario masa depan dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi.
 - 2) Implementasi: Pengembangan model prediksi erosi yang adaptif dengan memanfaatkan pembelajaran

mesin, yang dapat menyesuaikan prediksi berdasarkan data real-time dan perubahan lingkungan.

c. Aksesibilitas Data dan Alat yang Lebih Luas

- 1) Peluang: Dengan berkembangnya platform open-source dan alat yang lebih terjangkau, teknologi canggih kini dapat diakses oleh lebih banyak orang, termasuk peneliti, praktisi konservasi, dan pemerintah daerah.
- 2) Implementasi: Menggunakan platform open-source seperti QGIS untuk SIG dan memanfaatkan data satelit yang tersedia secara gratis untuk melakukan analisis erosi di wilayah yang luas tanpa memerlukan investasi besar.

d. Kolaborasi dan Berbagi Informasi

- 1) Peluang: Teknologi canggih memungkinkan kolaborasi yang lebih baik antarorganisasi, negara, dan komunitas dalam hal berbagi data, model, dan praktik terbaik untuk prediksi dan mitigasi erosi.
- 2) Implementasi: Membangun jaringan berbagi data global yang memungkinkan berbagai pihak untuk mengakses dan memanfaatkan data serta hasil prediksi untuk meningkatkan konservasi tanah di berbagai wilayah.

e. Pengembangan Solusi Inovatif

- 1) Peluang: Teknologi canggih membuka jalan bagi pengembangan solusi inovatif dalam manajemen erosi, seperti sistem peringatan dini berbasis sensor, drone untuk pemantauan lahan, dan aplikasi mobile untuk pengumpulan data lapangan.
- 2) Implementasi: Menggunakan drone untuk pemantauan daerah yang rentan erosi dan aplikasi mobile yang memungkinkan petani atau manajer lahan melaporkan kondisi lapangan secara langsung,

yang kemudian diintegrasikan ke dalam sistem prediksi erosi.

Meskipun terdapat tantangan dalam mengadopsi teknologi canggih untuk prediksi erosi, peluang yang ada jauh lebih besar. Dengan mengatasi tantangan melalui inovasi, pelatihan, dan kolaborasi, teknologi canggih dapat dioptimalkan untuk mengembangkan metode prediksi erosi yang lebih akurat, efisien, dan dapat diterapkan dalam berbagai skala. Hal ini akan sangat membantu dalam upaya konservasi tanah yang berkelanjutan dan manajemen sumber daya alam yang lebih baik di masa depan.

7.6 Masa Depan Metode Prediksi Erosi

Metode prediksi erosi terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi, perubahan iklim, dan kebutuhan akan manajemen lahan yang lebih efektif. Di masa depan, metode prediksi erosi diharapkan menjadi lebih canggih, akurat, dan dapat diakses secara luas, memungkinkan tindakan pencegahan dan mitigasi yang lebih efektif. Berikut adalah beberapa tren dan inovasi yang kemungkinan besar akan membentuk masa depan metode prediksi erosi:

1. Integrasi Teknologi Canggih

- a. Pembelajaran Mesin dan Kecerdasan Buatan (AI):
 - 1) Penerapan: Pembelajaran mesin dan AI akan memainkan peran penting dalam mengembangkan model prediksi erosi yang lebih adaptif dan cerdas. Model AI dapat menganalisis data besar (*big data*) dari berbagai sumber, seperti data iklim, topografi, dan penggunaan lahan, untuk memprediksi erosi dengan akurasi yang lebih tinggi.

- 2) Keuntungan: AI memungkinkan model untuk belajar dari data historis dan mengidentifikasi pola yang mungkin tidak terlihat oleh model tradisional. Ini akan memungkinkan prediksi erosi yang lebih dinamis dan responsif terhadap perubahan lingkungan.
- b. Penginderaan Jauh *Real-Time*:
 - 1) Penerapan: Penginderaan jauh dengan satelit resolusi tinggi dan drone akan semakin penting dalam memantau perubahan lahan dan lingkungan secara real-time. Teknologi ini memungkinkan pemantauan terus-menerus dan segera terhadap area yang rentan terhadap erosi.
 - 2) Keuntungan: Penginderaan jauh real-time memungkinkan respons cepat terhadap kejadian erosi, seperti setelah hujan deras atau bencana alam, sehingga langkah-langkah mitigasi dapat diterapkan segera untuk mencegah kerusakan lebih lanjut.

2. Model Prediksi yang Lebih Kompleks dan Terintegrasi

- a. Model Hidrologi Terintegrasi:
 - 1) Penerapan: Model hidrologi yang terintegrasi dengan model erosi, seperti SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), akan terus berkembang, memungkinkan analisis yang lebih komprehensif tentang interaksi antara erosi tanah, aliran air, dan kualitas air.
 - 2) Keuntungan: Model yang lebih terintegrasi akan memberikan pemahaman yang lebih holistik tentang bagaimana perubahan lingkungan mempengaruhi erosi dan bagaimana tindakan mitigasi dapat diterapkan pada skala yang lebih besar, seperti daerah aliran sungai (DAS).

b. Prediksi Multiskenario:

- 1) Penerapan: Di masa depan, model prediksi erosi akan mampu mensimulasikan berbagai skenario lingkungan, seperti skenario perubahan iklim, perubahan penggunaan lahan, dan intervensi konservasi. Hal ini akan memungkinkan perencana lahan untuk mengevaluasi berbagai pilihan dan memilih strategi yang paling efektif.
- 2) Keuntungan: Prediksi multiskenario membantu pembuat kebijakan dan manajer lahan untuk lebih siap menghadapi ketidakpastian lingkungan dan merencanakan langkah-langkah adaptasi yang lebih baik.

3. Penggunaan Data *Big Data* dan *Crowdsourcing*

a. Penggunaan *Big Data*:

- 1) Penerapan: Pemanfaatan big data akan memungkinkan pengumpulan dan analisis data dalam jumlah besar dari berbagai sumber, seperti sensor tanah, data cuaca, dan informasi satelit. Data ini akan digunakan untuk meningkatkan akurasi prediksi dan mempercepat proses pengambilan keputusan.
- 2) Keuntungan: *Big data* memungkinkan analisis yang lebih detail dan presisi tinggi, yang penting untuk memahami dinamika erosi di skala mikro hingga makro.

b. *Crowdsourcing* dan Partisipasi Publik:

- 1) Penerapan: *Crowdsourcing data*, di mana masyarakat atau petani berkontribusi data lapangan melalui aplikasi mobile, akan menjadi semakin umum. Informasi ini dapat digabungkan dengan data yang dikumpulkan secara ilmiah untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif tentang kondisi lapangan.

- 2) Keuntungan: Partisipasi publik melalui *crowdsourcing* meningkatkan cakupan pengumpulan data, terutama di daerah-daerah yang sulit dijangkau, dan memungkinkan tindakan pencegahan erosi yang lebih cepat dan berbasis komunitas.

4. Pengembangan Teknologi Terjangkau dan Terbuka

a. Platform Open-Source:

- 1) Penerapan: Platform *open-source* untuk model prediksi erosi dan SIG akan terus berkembang, membuat teknologi ini lebih terjangkau dan dapat diakses oleh lebih banyak orang, termasuk di negara berkembang.
- 2) Keuntungan: Akses yang lebih luas ke alat dan data *open-source* memungkinkan lebih banyak individu dan organisasi untuk terlibat dalam manajemen erosi dan konservasi tanah, meningkatkan efektivitas upaya global.

b. Teknologi Portable dan Mobile:

- 1) Penerapan: Teknologi portable dan mobile, seperti aplikasi SIG yang dapat digunakan di smartphone atau tablet, akan menjadi lebih umum. Ini akan memudahkan pengumpulan data lapangan dan analisis cepat langsung di lokasi.
- 2) Keuntungan: Teknologi mobile memungkinkan pengumpulan data dan analisis di lapangan secara *real-time*, meningkatkan respons terhadap situasi darurat seperti longsor atau banjir.

5. Penguatan Sistem Peringatan Dini dan Respons Cepat

- a. Sistem Peringatan Dini:
 - 1) Penerapan: Sistem peringatan dini berbasis sensor tanah, curah hujan, dan data *real-time* akan terus ditingkatkan untuk mendeteksi ancaman erosi dan longsor sebelum terjadi.
 - 2) Keuntungan: Sistem ini memungkinkan evakuasi dan tindakan pencegahan lainnya dilakukan sebelum terjadi kerusakan besar, mengurangi risiko bagi penduduk dan infrastruktur.
- b. Respons Cepat Berbasis Teknologi:
 - 1) Penerapan: Penggunaan drone, robot, dan teknologi lainnya dalam respons cepat akan memungkinkan penilaian kerusakan dan penerapan tindakan mitigasi segera setelah kejadian erosi atau bencana alam.
 - 2) Keuntungan: Teknologi ini memungkinkan intervensi yang lebih cepat dan efektif, mengurangi dampak erosi yang merusak pada lingkungan dan masyarakat.

Masa depan metode prediksi erosi akan ditandai oleh integrasi teknologi canggih, model yang lebih kompleks, penggunaan *big data*, serta partisipasi publik yang lebih besar. Dengan terus berkembangnya teknologi dan inovasi, metode prediksi erosi akan menjadi lebih akurat, efisien, dan dapat diakses secara luas, memungkinkan manajemen lahan yang lebih berkelanjutan dan konservasi tanah yang lebih efektif di seluruh dunia.

7.6.1 Pentingnya Akurasi dalam Prediksi Erosi

Akurasi dalam prediksi erosi adalah kunci untuk manajemen lahan dan air yang efektif, konservasi tanah, dan perlindungan ekosistem. Prediksi yang akurat memungkinkan

pengambilan keputusan yang tepat, alokasi sumber daya yang efisien, dan penerapan tindakan konservasi yang sesuai. Berikut adalah beberapa alasan mengapa akurasi dalam prediksi erosi sangat penting:

1. Perencanaan Konservasi yang Efektif

a. Identifikasi Hotspot Erosi:

- 1) Pentingnya Akurasi: Prediksi erosi yang akurat membantu mengidentifikasi area yang paling rentan terhadap erosi, yang disebut sebagai hotspot erosi. Dengan mengetahui lokasi-lokasi ini, langkah-langkah konservasi dapat difokuskan pada area yang paling membutuhkan intervensi.
- 2) Dampak: Ketidakakuratan dalam prediksi dapat menyebabkan alokasi sumber daya yang tidak tepat, di mana upaya konservasi mungkin diterapkan di tempat yang salah, sementara area yang sebenarnya kritis terabaikan.

b. Desain Infrastruktur Konservasi:

- 1) Pentingnya Akurasi: Akurasi dalam prediksi erosi memastikan bahwa infrastruktur konservasi, seperti terasering, bendungan penahan sedimen, atau saluran drainase, dirancang dan ditempatkan dengan tepat.
- 2) Dampak: Jika prediksi erosi tidak akurat, infrastruktur mungkin tidak mampu menahan erosi yang sebenarnya terjadi, yang dapat menyebabkan kegagalan sistem konservasi dan kerusakan lingkungan yang lebih besar.

2. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS)

a. Kontrol Sedimentasi:

- 1) Pentingnya Akurasi: Sedimentasi di sungai dan waduk adalah salah satu dampak utama dari erosi tanah. Prediksi erosi yang akurat memungkinkan

pengelolaan DAS yang lebih baik, dengan tindakan yang difokuskan pada area yang paling berkontribusi terhadap sedimentasi.

- 2) Dampak: Prediksi yang tidak akurat dapat menyebabkan penumpukan sedimen yang berlebihan, mengurangi kapasitas waduk, menurunkan kualitas air, dan meningkatkan risiko banjir.
- b. Kualitas Air:
- 1) Pentingnya Akurasi: Erosi tanah membawa partikel sedimen dan polutan ke badan air, yang mempengaruhi kualitas air. Prediksi yang akurat membantu dalam merancang strategi untuk mengurangi erosi dan memelihara kualitas air di DAS.
 - 2) Dampak: Ketidakakuratan dalam prediksi erosi dapat menyebabkan upaya mitigasi yang tidak efektif, sehingga kualitas air terus menurun, dengan dampak negatif bagi ekosistem dan kebutuhan manusia.

3. Respons terhadap Perubahan Iklim

- a. Adaptasi terhadap Variabilitas Iklim:
- 1) Pentingnya Akurasi: Dengan perubahan iklim yang mempengaruhi pola cuaca dan intensitas curah hujan, prediksi erosi yang akurat menjadi semakin penting untuk merancang strategi adaptasi. Ini termasuk prediksi tentang bagaimana perubahan iklim akan mempengaruhi erosi di berbagai wilayah.
 - 2) Dampak: Prediksi yang tidak akurat dapat mengarah pada underestimasi atau overestimasi dampak perubahan iklim pada erosi, yang berakibat pada tindakan yang tidak memadai atau tidak perlu, serta pengelolaan sumber daya yang tidak efisien.

b. Mitigasi Bencana Alam:

- 1) Pentingnya Akurasi: Akurasi dalam prediksi erosi sangat penting dalam mitigasi bencana alam, seperti banjir dan longsor. Prediksi yang akurat memungkinkan penerapan langkah-langkah pencegahan sebelum bencana terjadi.
- 2) Dampak: Ketidakakuratan dapat menyebabkan kegagalan dalam mendeteksi risiko yang sebenarnya, meningkatkan kerentanan masyarakat terhadap bencana alam, dan menyebabkan kerugian besar dalam hal nyawa dan harta benda.

4. Efisiensi Sumber Daya dan Penghematan Biaya

a. Penggunaan Sumber Daya yang Tepat:

- 1) Pentingnya Akurasi: Prediksi yang akurat memastikan bahwa sumber daya, seperti dana, tenaga kerja, dan bahan, digunakan secara optimal. Tindakan konservasi dapat dirancang dan diterapkan dengan efisiensi maksimum, mengurangi pemborosan.
- 2) Dampak: Prediksi yang tidak akurat dapat menyebabkan pengeluaran yang tidak efisien, di mana sumber daya mungkin terbuang pada intervensi yang tidak diperlukan atau kurang efektif.

b. Pencegahan Kerugian Ekonomi:

- 1) Pentingnya Akurasi: Kerugian ekonomi akibat erosi dapat berupa kerusakan lahan pertanian, infrastruktur, dan sumber daya alam. Prediksi erosi yang akurat membantu mencegah kerugian ini dengan memungkinkan tindakan pencegahan yang tepat waktu.
- 2) Dampak: Ketidakakuratan dalam prediksi dapat mengakibatkan biaya perbaikan yang lebih tinggi dan kerugian ekonomi yang lebih besar akibat kegagalan dalam mencegah erosi.

5. Perlindungan Ekosistem

- a. Konservasi Keanekaragaman Hayati:
 - 1) Pentingnya Akurasi: Erosi tanah dapat menyebabkan degradasi habitat dan hilangnya keanekaragaman hayati. Prediksi erosi yang akurat membantu melindungi ekosistem dengan merancang langkah-langkah konservasi yang tepat sasaran.
 - 3) Dampak: Ketidakakuratan dapat menyebabkan hilangnya habitat penting yang tidak terlindungi, mengancam spesies yang sudah terancam punah dan merusak keseimbangan ekosistem.
- c. Pengelolaan Lahan Berkelanjutan:
 - 1) Pentingnya Akurasi: Pengelolaan lahan yang berkelanjutan membutuhkan pemahaman yang mendalam tentang bagaimana erosi mempengaruhi tanah. Prediksi yang akurat memungkinkan pengelolaan lahan yang memperhitungkan keberlanjutan jangka panjang, termasuk pemulihan tanah yang terdegradasi.
 - 2) Dampak: Prediksi yang tidak akurat dapat menyebabkan praktik pengelolaan lahan yang tidak berkelanjutan, mempercepat degradasi tanah, dan menurunkan produktivitas lahan dalam jangka panjang.

Akurasi dalam prediksi erosi adalah fundamental untuk manajemen lahan yang efektif, perlindungan ekosistem, dan mitigasi risiko bencana alam. Dengan meningkatnya kompleksitas tantangan lingkungan, termasuk perubahan iklim dan degradasi lahan, akurasi dalam prediksi erosi akan menjadi semakin penting. Penggunaan teknologi canggih, pengumpulan data yang tepat, dan pengembangan model prediksi yang lebih baik adalah langkah-langkah penting untuk memastikan bahwa prediksi erosi dapat digunakan sebagai alat yang andal dalam konservasi tanah dan manajemen sumber daya alam.

7.6.2 Dampak Perubahan Iklim terhadap Erosi Tanah

Perubahan iklim memiliki dampak yang signifikan terhadap erosi tanah, mempengaruhi baik intensitas maupun frekuensi proses erosi. Perubahan ini disebabkan oleh peningkatan variabilitas cuaca, termasuk perubahan pola curah hujan, kenaikan suhu, dan peningkatan frekuensi peristiwa cuaca ekstrem. Berikut adalah beberapa dampak utama perubahan iklim terhadap erosi tanah:

1. Peningkatan Intensitas dan Variabilitas Curah Hujan

a. Hujan Lebat dan Erosi:

- 1) Dampak: Salah satu dampak perubahan iklim yang paling langsung terhadap erosi tanah adalah peningkatan intensitas curah hujan. Hujan lebat, terutama yang terjadi dalam waktu singkat, meningkatkan volume aliran permukaan, yang pada gilirannya meningkatkan potensi erosi tanah. Intensitas hujan yang lebih tinggi menyebabkan air tidak dapat meresap ke dalam tanah dengan cepat, sehingga mengalir di permukaan dan mengikis lapisan tanah atas.
- 2) Implikasi: Di daerah dengan curah hujan tinggi, terutama di wilayah pegunungan atau dengan topografi curam, risiko erosi parah meningkat, mengarah pada penurunan produktivitas tanah dan peningkatan sedimentasi di sungai dan waduk.

b. Variabilitas Curah Hujan:

- 1) Dampak: Perubahan iklim menyebabkan variabilitas curah hujan yang lebih besar, dengan periode kekeringan diikuti oleh hujan deras. Periode kekeringan membuat tanah lebih rentan terhadap erosi karena tanah menjadi kering dan mudah terlepas, sementara hujan deras setelah kekeringan dapat dengan cepat mengikis tanah yang sudah melemah.

- 2) Implikasi: Variabilitas ini dapat memperburuk masalah erosi, terutama di daerah yang sudah rentan, dan membuat prediksi dan manajemen erosi menjadi lebih kompleks.

2. Peningkatan Suhu dan Pengeringan Tanah

- a. Pengeringan Tanah dan Kerentanan terhadap Erosi:
 - 1) Dampak: Kenaikan suhu global menyebabkan penguapan yang lebih tinggi, yang mengarah pada pengeringan tanah. Tanah yang kering lebih rentan terhadap erosi angin dan air, karena partikel tanah menjadi lebih longgar dan mudah terlepas.
 - 2) Implikasi: Pengeringan tanah meningkatkan risiko erosi, terutama di daerah semi-arid dan arid, di mana vegetasi mungkin sudah jarang dan tidak mampu melindungi tanah dari erosi.
- b. Perubahan Vegetasi:
 - 1) Dampak: Perubahan suhu juga dapat mempengaruhi jenis dan distribusi vegetasi, yang penting dalam melindungi tanah dari erosi. Misalnya, suhu yang lebih tinggi dapat menyebabkan pergeseran vegetasi ke ketinggian yang lebih tinggi atau menyebabkan penurunan tutupan vegetasi di beberapa daerah.
 - 2) Implikasi: Dengan berkurangnya vegetasi yang menahan tanah, risiko erosi meningkat, terutama di daerah yang sebelumnya dilindungi oleh vegetasi yang padat.

3. Peningkatan Frekuensi Peristiwa Cuaca Ekstrem

- a. Banjir dan Longsor:
 - 1) Dampak: Perubahan iklim diperkirakan akan meningkatkan frekuensi dan intensitas peristiwa cuaca ekstrem, seperti badai, banjir, dan siklon. Peristiwa ini dapat menyebabkan erosi tanah yang

hebat, menggerus lapisan tanah yang subur dan menyebabkan longsor di daerah berbukit.

- 2) Implikasi: Banjir dan longsor tidak hanya merusak lahan pertanian dan infrastruktur, tetapi juga menyebabkan hilangnya tanah yang subur dan peningkatan sedimentasi di badan air, yang dapat merusak habitat akuatik dan mengurangi kualitas air.
- b. Gelombang Panas dan Kekeringan:
 - 1) Dampak: Gelombang panas yang lebih sering dan berkepanjangan, serta kekeringan yang parah, mengakibatkan tanah menjadi lebih kering dan rentan terhadap erosi angin. Selain itu, kekeringan yang berkelanjutan dapat menyebabkan kematian vegetasi, yang biasanya berfungsi sebagai penahan tanah.
 - 2) Implikasi: Tanah yang kering dan tidak dilindungi menjadi sangat rentan terhadap erosi angin, terutama di daerah gurun atau semi-arid, di mana angin dapat dengan mudah mengangkat dan mengangkut partikel tanah.

4. Perubahan dalam Penggunaan Lahan

- a. Pergeseran Pertanian:
 - 1) Dampak: Perubahan iklim dapat memaksa pergeseran dalam pola penggunaan lahan, seperti perluasan pertanian ke daerah yang sebelumnya tidak digunakan. Tanpa perencanaan yang tepat, perubahan penggunaan lahan ini dapat meningkatkan risiko erosi, terutama jika lahan yang baru dibuka tidak memiliki perlindungan vegetasi yang memadai.
 - 2) Implikasi: Pertanian yang tidak terkelola dengan baik di daerah baru dapat menyebabkan degradasi tanah yang cepat dan peningkatan laju erosi, terutama di

lahan dengan topografi curam atau tanah yang rentan.

b. Deforestasi dan Penggundulan Hutan:

- 1) Dampak: Dalam beberapa kasus, perubahan iklim telah memperburuk deforestasi, karena peningkatan permintaan lahan pertanian atau sumber daya lainnya. Penggundulan hutan menghilangkan penutup tanah alami, membuat tanah lebih rentan terhadap erosi.
- 2) Implikasi: Deforestasi yang tidak terkontrol dapat menyebabkan erosi yang masif, hilangnya keanekaragaman hayati, dan peningkatan emisi karbon karena hilangnya hutan sebagai penyerap karbon.

5. Dampak Terhadap Kualitas Air dan Ekosistem

a. Sedimentasi di Badan Air:

- 1) Dampak: Erosi tanah yang diperburuk oleh perubahan iklim menyebabkan peningkatan sedimentasi di sungai, danau, dan waduk. Sedimentasi yang berlebihan dapat mengurangi kapasitas penyimpanan waduk, menyebabkan banjir, dan menurunkan kualitas air.
- 2) Implikasi: Sedimentasi yang meningkat juga berdampak negatif pada ekosistem akuatik, mengganggu habitat ikan dan organisme lainnya serta mengurangi keberlanjutan perikanan dan sumber daya air.

b. Degradasi Habitat Terrestrial:

- 1) Dampak: Erosi tanah yang dipicu oleh perubahan iklim mengarah pada degradasi habitat terrestrial, yang mengancam keberlanjutan ekosistem darat dan keanekaragaman hayati. Spesies yang bergantung pada tanah yang stabil dan vegetasi yang padat mungkin terancam punah.

- 2) Implikasi: Degradasi habitat terestrial juga mempengaruhi layanan ekosistem penting, seperti penyimpanan karbon, regulasi iklim, dan produksi pangan, yang semuanya berkontribusi pada kesejahteraan manusia.

Perubahan iklim memiliki dampak yang luas dan kompleks terhadap erosi tanah, mempengaruhi baik laju maupun distribusi erosi di berbagai wilayah. Peningkatan curah hujan, suhu yang lebih tinggi, dan peristiwa cuaca ekstrem memperparah risiko erosi, yang pada gilirannya mengancam kualitas tanah, sumber daya air, dan keberlanjutan ekosistem. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan strategi adaptasi yang efektif dan menerapkan langkah-langkah konservasi tanah yang dapat mengurangi dampak erosi dalam menghadapi perubahan iklim yang terus berlangsung.

7.6.3 Perkembangan Teknologi dan Pendekatan Multidisipliner

Perkembangan teknologi dan pendekatan multidisipliner telah membawa perubahan signifikan dalam cara kita memahami, memprediksi, dan mengelola erosi tanah. Integrasi berbagai disiplin ilmu dengan teknologi canggih telah meningkatkan akurasi prediksi, memungkinkan analisis yang lebih komprehensif, dan mendukung penerapan solusi yang lebih efektif dalam konservasi tanah dan manajemen lahan. Berikut ini adalah bagaimana teknologi dan pendekatan multidisipliner berperan dalam prediksi erosi:

1. Perkembangan Teknologi dalam Prediksi Erosi

- a. Penginderaan Jauh (Remote Sensing):
 - 1) Citra Satelit dan Drone: Penginderaan jauh memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara luas dan detail, mencakup topografi, penutupan

lahan, dan perubahan penggunaan lahan. Dengan teknologi ini, data real-time dapat diperoleh dan digunakan untuk memantau kondisi lahan, memprediksi erosi, dan mengidentifikasi area yang membutuhkan intervensi konservasi.

- 2) Keuntungan: Penginderaan jauh memberikan gambaran yang lebih akurat dan kontinu tentang perubahan lahan, yang penting untuk memahami dinamika erosi secara lebih menyeluruh.
- b. Sistem Informasi Geografis (SIG):
- 1) Analisis Spasial dan Pemetaan Risiko: SIG digunakan untuk mengintegrasikan data dari berbagai sumber, seperti citra satelit, DEM (Digital Elevation Model), dan data hidrologi, untuk melakukan analisis spasial yang mendalam. Ini memungkinkan pemetaan risiko erosi, identifikasi hotspot, dan perencanaan intervensi yang lebih tepat sasaran.
 - 3) Keuntungan: SIG memfasilitasi visualisasi data dalam bentuk peta tematik, model 3D, dan analisis temporal, membantu pengambilan keputusan yang lebih informatif.
- a. Model Hidrologi dan Erosi:
- 1) Model WEPP dan EUROSEM: Model fisik seperti WEPP (*Water Erosion Prediction Project*) dan EUROSEM (*European Soil Erosion Model*) telah berkembang dengan integrasi data spasial dan hidrologi untuk memprediksi erosi dengan akurasi tinggi. Model ini mempertimbangkan faktor-faktor seperti curah hujan, aliran air, dan interaksi antara tanah dan vegetasi.
 - 2) Keuntungan: Model-model ini mampu mensimulasikan erosi dalam berbagai kondisi lingkungan dan skenario cuaca, membantu dalam perencanaan dan mitigasi risiko erosi.

- b. Big Data dan Pembelajaran Mesin (*Machine Learning*):
 - 1) Analisis Prediktif: Big data memungkinkan pengumpulan dan analisis data dalam jumlah besar dari berbagai sumber, seperti sensor tanah, data cuaca, dan citra satelit. Pembelajaran mesin digunakan untuk mengidentifikasi pola erosi dan mengembangkan model prediksi yang lebih canggih dan adaptif.
 - 2) Keuntungan: Dengan pembelajaran mesin, model prediksi dapat terus diperbarui dan disesuaikan berdasarkan data terbaru, meningkatkan akurasi dan relevansi prediksi.
- c. Teknologi *Real-Time* dan Sistem Peringatan Dini:
 - 1) Sensor Tanah dan Cuaca: Teknologi sensor digunakan untuk memantau kelembaban tanah, curah hujan, dan aliran air secara real-time. Data ini diintegrasikan dengan model prediksi untuk memberikan peringatan dini tentang potensi erosi atau longsor.
 - 2) Keuntungan: Sistem peringatan dini memungkinkan respons cepat terhadap kejadian erosi, mengurangi risiko kerusakan dan melindungi infrastruktur serta kehidupan manusia.

2. Pendekatan Multidisipliner dalam Prediksi Erosi

- a. Kolaborasi Ilmu Lingkungan, Hidrologi, dan Geografi:
 - 1) Integrasi Ilmu: Pendekatan multidisipliner menggabungkan keahlian dari berbagai disiplin ilmu untuk memahami erosi tanah secara lebih komprehensif. Misalnya, ilmu lingkungan memberikan wawasan tentang ekosistem dan konservasi, hidrologi fokus pada aliran air dan siklus hidrologi, sementara geografi memetakan dan menganalisis data spasial.
 - 2) Keuntungan: Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih komprehensif dan solusi yang lebih

holistik dalam manajemen lahan dan konservasi tanah.

b. Kontribusi Ilmu Sosial dan Ekonomi:

- 1) Faktor Sosial dan Ekonomi: Ilmu sosial dan ekonomi memainkan peran penting dalam memahami faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaan lahan dan keputusan manajemen lahan. Pendekatan multidisipliner mempertimbangkan dinamika sosial, kebijakan, dan aspek ekonomi dalam mengembangkan strategi mitigasi erosi yang berkelanjutan.
- 2) Keuntungan: Dengan mempertimbangkan aspek sosial dan ekonomi, solusi yang diusulkan lebih mungkin diterima dan diimplementasikan oleh masyarakat, meningkatkan efektivitas upaya konservasi.

c. Teknologi Berkelanjutan dan Rekayasa Lingkungan:

- 1) Infrastruktur Hijau: Pendekatan multidisipliner mendukung pengembangan infrastruktur hijau, seperti terasering, bendungan penahan sedimen, dan vegetasi penahan erosi, yang didesain berdasarkan prinsip-prinsip rekayasa lingkungan dan konservasi tanah.
- 2) Keuntungan: Infrastruktur hijau yang dirancang dengan pendekatan ini tidak hanya efektif dalam mengurangi erosi tetapi juga mendukung keanekaragaman hayati dan fungsi ekosistem.

d. Edukasi dan Partisipasi Masyarakat:

- 1) Program Pendidikan dan Pelatihan: Pendekatan multidisipliner juga melibatkan edukasi dan pelatihan bagi masyarakat dan pemangku kepentingan tentang pentingnya konservasi tanah dan penggunaan teknologi dalam prediksi erosi. Partisipasi masyarakat dalam pengumpulan data

(*crowdsourcing*) dan implementasi proyek konservasi menjadi semakin penting.

- 2) Keuntungan: Dengan meningkatkan kesadaran dan partisipasi masyarakat, program konservasi tanah menjadi lebih berkelanjutan dan efektif dalam jangka panjang.

3. Tantangan dan Peluang dalam Pendekatan Teknologi dan Multidisipliner

a. Tantangan:

- 1) Koordinasi Antar-Disiplin: Salah satu tantangan utama dalam pendekatan multidisipliner adalah koordinasi dan komunikasi antara berbagai disiplin ilmu. Setiap disiplin memiliki metodologi, terminologi, dan prioritas yang berbeda, yang kadang-kadang dapat menyebabkan kesulitan dalam kolaborasi.
- 2) Biaya dan Sumber Daya: Penggunaan teknologi canggih dan pendekatan multidisipliner sering memerlukan investasi yang signifikan dalam hal waktu, dana, dan tenaga ahli, yang mungkin tidak tersedia di semua wilayah atau organisasi.

b. Peluang:

- 1) Inovasi dan Adaptasi: Pendekatan multidisipliner membuka peluang untuk inovasi dalam teknologi dan metode prediksi erosi. Dengan menggabungkan berbagai keahlian dan perspektif, solusi baru yang lebih efektif dan adaptif dapat dikembangkan.
- 2) Skalabilitas dan Replikasi: Teknologi dan pendekatan multidisipliner memungkinkan pengembangan solusi yang dapat diskalakan dan direplikasi di berbagai wilayah dengan kondisi yang berbeda, meningkatkan dampak positif pada konservasi tanah secara global.

Perkembangan teknologi dan pendekatan multidisipliner telah memperkuat kemampuan kita untuk memprediksi dan mengelola erosi tanah dengan lebih baik. Integrasi teknologi canggih seperti penginderaan jauh, SIG, dan pembelajaran mesin dengan berbagai disiplin ilmu menciptakan pendekatan yang lebih komprehensif dan adaptif. Dengan mengatasi tantangan dan memanfaatkan peluang yang ada, pendekatan ini akan terus meningkatkan efektivitas upaya konservasi tanah dan manajemen lahan di masa depan.

7.7 Kesimpulan

Prediksi erosi adalah elemen krusial dalam manajemen tanah dan air yang berkelanjutan, mengingat peran pentingnya dalam menjaga keseimbangan ekosistem dan kualitas lingkungan. Berbagai Metode prediksi erosi, mulai dari pendekatan empiris yang sederhana hingga model berbasis fisik yang kompleks, serta teknologi canggih seperti penginderaan jauh dan SIG menyediakan solusi yang disesuaikan dengan berbagai tantangan lingkungan yang dihadapi.

7.7.1 Ringkasan Metode Prediksi Erosi

Pemilihan Metode yang tepat sangat penting untuk efektivitas manajemen lahan. Metode empiris, seperti USLE, cocok untuk skala luas dengan data yang terbatas, sedangkan model berbasis fisik seperti WEPP dan EUROSEM memberikan prediksi yang lebih akurat dalam skenario yang memerlukan ketelitian tinggi. Penggunaan teknologi canggih, seperti penginderaan jauh dan SIG, memungkinkan pemantauan dan analisis erosi yang lebih real-time dan komprehensif, memberikan fleksibilitas dalam penerapan di berbagai kondisi lingkungan.

Seiring dengan meningkatnya tekanan terhadap lahan akibat aktivitas manusia dan dampak perubahan iklim, pentingnya Metode prediksi erosi yang akurat dan efektif semakin terasa. Integrasi pendekatan multidisipliner dan penggunaan teknologi yang terus berkembang akan menjadi kunci dalam upaya mitigasi erosi dan konservasi tanah, menjaga kelangsungan sumber daya tanah, dan mendukung keberlanjutan ekosistem di masa depan.

7.7.2 Rekomendasi untuk Penggunaan Metode Prediksi Erosi yang Tepat

Memilih metode prediksi erosi yang tepat sangat penting untuk memastikan efektivitas manajemen lahan dan upaya konservasi tanah. Pemilihan metode harus didasarkan pada tujuan spesifik, kondisi lingkungan, ketersediaan data, dan sumber daya yang ada. Berikut adalah beberapa rekomendasi untuk memilih dan menggunakan metode prediksi erosi yang tepat:

1. Pertimbangkan Skala Waktu dan Ruang

a. Prediksi Jangka Pendek vs. Jangka Panjang:

Rekomendasi: Untuk prediksi erosi jangka pendek, terutama terkait peristiwa hujan ekstrem atau bencana alam, model fisik seperti WEPP atau EUROSEM lebih tepat karena mereka mampu mensimulasikan dinamika aliran air dan transportasi sedimen dengan detail tinggi. Untuk prediksi jangka panjang, seperti evaluasi risiko tahunan, metode empiris seperti USLE atau RUSLE mungkin lebih sesuai, karena mereka memberikan gambaran umum tentang laju erosi tahunan berdasarkan data historis.

b. Skala Lokal vs. Regional:

Rekomendasi: Pada skala lokal, di mana detail topografi dan kondisi tanah sangat bervariasi, model fisik seperti WEPP sangat berguna. Untuk skala regional atau

DAS yang luas, metode seperti RUSLE yang lebih mudah diterapkan dan memerlukan data yang lebih sederhana mungkin lebih praktis, meskipun dengan akurasi yang lebih rendah.

2. Ketersediaan Data dan Sumber Daya

a. Data yang Tersedia:

Rekomendasi: Pilih metode prediksi yang sesuai dengan ketersediaan data. Jika data yang tersedia terbatas atau bersifat umum, metode empiris seperti USLE atau RUSLE yang memerlukan input data sederhana seperti curah hujan, jenis tanah, dan penutupan lahan adalah pilihan terbaik. Jika data yang lebih rinci tersedia, seperti DEM (Digital Elevation Model), data hidrologi, dan data cuaca real-time, model fisik seperti WEPP atau EUROSEM dapat memberikan hasil yang lebih akurat.

b. Sumber Daya dan Kapasitas Teknis:

Rekomendasi: Pertimbangkan kemampuan teknis dan sumber daya yang tersedia. Jika tim Anda memiliki keterampilan dan akses ke perangkat lunak canggih serta komputasi yang kuat, model fisik yang kompleks dapat digunakan. Namun, jika sumber daya dan kapasitas teknis terbatas, metode yang lebih sederhana dengan kebutuhan komputasi rendah seperti USLE atau RUSLE lebih disarankan.

3. Kondisi Lingkungan dan Topografi

a. Topografi Kompleks:

Rekomendasi: Di wilayah dengan topografi kompleks, seperti daerah pegunungan atau lereng curam, metode yang mampu menangkap dinamika aliran air dan sedimen secara detail, seperti WEPP atau EUROSEM, akan lebih efektif. Metode ini mempertimbangkan bagaimana air bergerak melintasi lanskap yang bervariasi, yang penting untuk prediksi yang akurat di daerah-daerah ini.

- b. Variabilitas Iklim dan Perubahan Penggunaan Lahan:
Rekomendasi: di wilayah dengan variabilitas iklim yang tinggi atau perubahan penggunaan lahan yang cepat, seperti di daerah yang rentan terhadap perubahan iklim, model prediksi yang dapat menyesuaikan dengan perubahan ini sangat diperlukan. Integrasi model fisik dengan data real-time dan prediksi perubahan iklim dapat memberikan gambaran yang lebih dinamis tentang risiko erosi.

4. Tujuan dan Fokus Penggunaan

- a. Identifikasi Hotspot Erosi:
Rekomendasi: Jika tujuan utamanya adalah mengidentifikasi area yang paling rentan terhadap erosi untuk intervensi konservasi, peta risiko erosi yang dihasilkan dari RUSLE dalam kombinasi dengan SIG dapat sangat berguna. Peta ini dapat membantu memprioritaskan area yang memerlukan perhatian segera.
- b. Perencanaan Infrastruktur dan Konservasi:
Rekomendasi: Untuk desain dan penempatan infrastruktur konservasi, seperti terasering atau bendungan penahan sedimen, gunakan model fisik yang mampu mensimulasikan skenario spesifik di lapangan. Model seperti WEPP memungkinkan simulasi berbagai skenario pengelolaan lahan, memberikan panduan yang tepat untuk tindakan konservasi.

5. Integrasi dengan Teknologi Canggih

- a. Penginderaan Jauh dan SIG:
Rekomendasi: Integrasikan metode prediksi erosi dengan teknologi penginderaan jauh dan SIG untuk meningkatkan akurasi dan efektivitas prediksi. Penginderaan jauh memberikan data lingkungan yang luas dan terkini, sementara SIG memungkinkan analisis

spasial yang mendalam dan pemetaan risiko erosi yang lebih komprehensif.

b. **Pembelajaran Mesin dan Big Data:**

Rekomendasi: Pertimbangkan penggunaan pembelajaran mesin dan analisis big data untuk meningkatkan model prediksi, terutama di wilayah dengan data besar dan variabel yang kompleks. Pembelajaran mesin dapat membantu mengidentifikasi pola yang tidak terlihat oleh model tradisional, meningkatkan akurasi prediksi.

6. Keterlibatan Masyarakat dan Edukasi

a. **Partisipasi Publik dan Crowdsourcing:**

Rekomendasi: Libatkan masyarakat lokal dalam pengumpulan data lapangan melalui crowdsourcing, menggunakan aplikasi mobile atau platform digital lainnya. Partisipasi publik tidak hanya meningkatkan cakupan data tetapi juga memperkuat kesadaran dan tanggung jawab lokal terhadap konservasi tanah.

b. **Pendidikan dan Pelatihan:**

Rekomendasi: Pastikan ada program edukasi dan pelatihan bagi pengguna metode prediksi erosi, terutama di daerah pedesaan atau dengan akses terbatas ke teknologi. Pelatihan yang baik meningkatkan kemampuan lokal dalam mengelola erosi dan melindungi sumber daya tanah.

7. Evaluasi dan Penyesuaian Metode

a. **Pemantauan dan Evaluasi Berkelanjutan:**

Rekomendasi: Lakukan pemantauan dan evaluasi berkelanjutan terhadap metode prediksi erosi yang digunakan. Sesuaikan metode atau parameter model berdasarkan hasil evaluasi dan data terbaru untuk meningkatkan akurasi dan relevansi prediksi.

b. Skenario Uji dan Penyesuaian:

Rekomendasi: Uji berbagai skenario prediksi menggunakan metode yang berbeda untuk melihat mana yang memberikan hasil terbaik di wilayah spesifik Anda. Penyesuaian metode berdasarkan hasil uji coba ini dapat mengoptimalkan prediksi dan tindakan konservasi.

Pemilihan metode prediksi erosi yang tepat harus didasarkan pada berbagai faktor, termasuk skala waktu dan ruang, ketersediaan data dan sumber daya, kondisi lingkungan, dan tujuan spesifik. Dengan mempertimbangkan rekomendasi ini, Anda dapat memilih metode yang paling sesuai untuk situasi Anda, meningkatkan efektivitas upaya konservasi tanah dan manajemen lahan.

7.7.3 Implikasi untuk Manajemen Tanah dan Air yang Berkelanjutan

Manajemen tanah dan air yang berkelanjutan merupakan kunci dalam menjaga keseimbangan ekosistem, mendukung produksi pertanian, dan melindungi sumber daya alam bagi generasi mendatang. Penerapan metode prediksi erosi yang tepat tidak hanya penting untuk mengurangi degradasi tanah, tetapi juga memiliki implikasi yang luas bagi manajemen tanah dan air secara keseluruhan. Berikut ini adalah beberapa implikasi utama untuk manajemen tanah dan air yang berkelanjutan:

1. Konservasi Tanah dan Pencegahan Degradasi

- Pengelolaan Erosi yang Lebih Efektif:
 - 1) Implikasi: Dengan menggunakan metode prediksi erosi yang akurat, manajer lahan dapat mengidentifikasi area yang paling rentan terhadap erosi dan merencanakan tindakan konservasi yang tepat, seperti penanaman vegetasi penahan erosi, terasering, atau penutupan tanah. Ini akan

mengurangi laju degradasi tanah, menjaga kesuburan tanah, dan mempertahankan produktivitas lahan jangka panjang.

- 2) Dampak: Mengurangi erosi tanah juga membantu mencegah hilangnya lapisan tanah atas yang kaya akan nutrisi, menjaga kesehatan tanah untuk pertanian dan ekosistem alami.

2. Pengelolaan Sumber Daya Air yang Lebih Baik

- Pengurangan Sedimentasi dan Pengelolaan DAS:
 - 1) Implikasi: Erosi tanah yang tidak terkendali menyebabkan sedimentasi di sungai, waduk, dan danau, yang dapat mengurangi kapasitas penyimpanan air, menurunkan kualitas air, dan meningkatkan risiko banjir. Dengan prediksi erosi yang tepat, sedimentasi dapat dikurangi melalui langkah-langkah konservasi tanah yang efisien, seperti vegetasi penahan dan pembuatan tanggul.
 - 2) Dampak: Pengelolaan sedimentasi yang baik memperpanjang umur infrastruktur penyimpanan air dan memastikan pasokan air yang bersih untuk irigasi, konsumsi, dan ekosistem akuatik.

3. Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

- Peningkatan Ketahanan Terhadap Bencana Alam:
 - 1) Implikasi: Perubahan iklim meningkatkan frekuensi dan intensitas peristiwa cuaca ekstrem seperti hujan lebat dan kekeringan, yang memperparah erosi tanah. Dengan metode prediksi erosi yang baik, wilayah yang rentan dapat diidentifikasi dan dilindungi melalui tindakan adaptasi yang tepat, seperti pemulihan vegetasi dan pembangunan infrastruktur yang lebih tahan terhadap bencana.
 - 2) Dampak: Ini meningkatkan ketahanan masyarakat dan ekosistem terhadap perubahan iklim, mengurangi risiko bencana alam yang merugikan ekonomi dan lingkungan.

4. Peningkatan Produktivitas Pertanian

- Pengelolaan Lahan yang Lebih Berkelanjutan:
 - 1) Implikasi: Dengan mengidentifikasi area dengan risiko erosi tinggi, petani dapat menerapkan praktik pengelolaan lahan yang lebih berkelanjutan, seperti rotasi tanaman, penanaman tanaman penutup, dan pengurangan pengolahan tanah. Ini akan mencegah degradasi tanah, meningkatkan retensi air, dan menjaga produktivitas tanah dalam jangka panjang.
 - 2) Dampak: Pertanian yang berkelanjutan menjaga stabilitas produksi pangan, mengurangi ketergantungan pada input kimia, dan mendukung kesejahteraan petani.

5. Pelestarian Ekosistem dan Keanekaragaman Hayati

- Perlindungan Habitat:
 - 1) Implikasi: Erosi tanah yang tidak terkendali dapat merusak habitat alami, mengancam keanekaragaman hayati, dan mengganggu fungsi ekosistem. Prediksi erosi yang akurat memungkinkan perlindungan habitat-habitat penting, terutama di daerah sensitif seperti hutan dan lahan basah.
 - 2) Dampak: Melindungi habitat ini penting untuk menjaga keanekaragaman hayati, yang pada gilirannya mendukung layanan ekosistem seperti penyerbukan, penyimpanan karbon, dan pengendalian hama alami.

6. Efisiensi Penggunaan Sumber Daya dan Penghematan Biaya

- Alokasi Sumber Daya yang Tepat:
 - 1) Implikasi: Dengan menggunakan prediksi erosi yang tepat, sumber daya seperti dana, tenaga kerja, dan bahan dapat dialokasikan dengan lebih efisien ke area yang paling membutuhkan intervensi. Ini menghindari

pemborosan sumber daya dan memastikan bahwa tindakan konservasi memiliki dampak yang maksimal.

- 2) Dampak: Penghematan biaya dan peningkatan efisiensi dalam pengelolaan lahan dan air membantu meningkatkan keberlanjutan proyek konservasi dan memungkinkan lebih banyak wilayah untuk dilindungi.

7. Penguatan Kebijakan dan Perencanaan Tata Ruang

- Pengembangan Kebijakan yang Berdasarkan Data:
 - 1) Implikasi: Data prediksi erosi yang akurat dapat digunakan oleh pembuat kebijakan untuk merumuskan regulasi dan kebijakan yang mendukung konservasi tanah dan air, seperti zonasi lahan, insentif untuk praktik pertanian berkelanjutan, dan peraturan perlindungan hutan.
 - 2) Dampak: Kebijakan yang didukung oleh data membantu mengurangi konflik penggunaan lahan, memastikan pembangunan berkelanjutan, dan melindungi sumber daya alam untuk kepentingan jangka panjang.

8. Pendidikan, Kesadaran, dan Partisipasi Masyarakat

- Peningkatan Kesadaran Lingkungan:
 - 1) Implikasi: Edukasi dan penyebaran informasi tentang pentingnya prediksi erosi dan konservasi tanah dapat meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga lingkungan. Dengan demikian, masyarakat lebih mungkin terlibat dalam upaya konservasi dan mendukung kebijakan lingkungan.
 - 2) Dampak: Partisipasi masyarakat yang lebih tinggi dalam konservasi tanah meningkatkan keberhasilan program-program lingkungan dan menciptakan komunitas yang lebih berkelanjutan.

Metode prediksi erosi yang tepat dan akurat memiliki implikasi yang luas bagi manajemen tanah dan air yang berkelanjutan. Dengan memanfaatkan teknologi canggih dan pendekatan multidisipliner, pengelolaan tanah dan air dapat dilakukan dengan lebih efektif, yang pada gilirannya mendukung produktivitas pertanian, pelestarian ekosistem, adaptasi terhadap perubahan iklim, dan kesejahteraan masyarakat. Oleh karena itu, implementasi metode ini harus menjadi prioritas dalam upaya konservasi dan pembangunan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. USDA Agriculture Handbook No. 537. United States Department of Agriculture.
- Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., & Yoder, D. C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. USDA Agriculture Handbook No. 703. United States Department of Agriculture.
- Flanagan, D. C., & Nearing, M. A. (1995). *USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope Profile and Watershed Model Documentation*. NSERL Report No. 10. National Soil Erosion Research Laboratory.
- Morgan, R. P. C., & Duzant, J. H. (2008). Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) Model for Predicting Soil Erosion Risk. *Soil Use and Management*, 24(1), 73-81. doi:10.1111/j.1475-2743.2007.00127.x
- Foster, G. R., Lane, L. J., Nowlin, J. D., Laflen, J. M., & Young, R. A. (1981). Estimation of Erosion and Sediment Yield by Simulation of Upland Erosion Processes. In *Proceedings of the Symposium on Erosion and Sediment Transport Measurement* (pp. 527-547). International Association of Hydrological Sciences (IAHS) Publication.
- Merritt, W. S., Letcher, R. A., & Jakeman, A. J. (2003). A Review of Erosion and Sediment Transport Models. *Environmental Modelling & Software*, 18(8-9), 761-799. doi:10.1016/S1364-8152(03)00078-1
- Kirkby, M. J., Imeson, A. C., Bergkamp, G., & Cammeraat, L. H. (1996). Scaling up Processes and Models from the Field Plot to the Watershed and Regional Areas. *Journal of Soil and Water Conservation*, 51(5), 391-396.

- Beskow, S., Mello, C. R., Norton, L. D., Curi, N., Viola, M. R., & Avanzi, J. C. (2009). Soil Erosion Prediction in the Grande River Basin, Brazil Using Distributed Modelling. *Catena*, 79(1), 49-59. doi:10.1016/j.catena.2009.05.010
- Boardman, J., & Poesen, J. (Eds.). (2006). Soil Erosion in Europe. *Wiley-Blackwell*. doi:10.1002/0470859202
- Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H., & Arnold, J. G. (2007). The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1211-1250.

BAB 8

CARA-CARA EVALUASI EROSI TANAH PADA SKALA MAKRO, MESO, DAN MIKRO

Oleh Yofris Puay

8.1 Pendahuluan

Erosi tanah adalah proses hilangnya lapisan tanah bagian atas akibat aksi air atau angin, di mana partikel-partikel tanah dihancurkan, diangkut, dan dipindahkan ke lokasi lain. Jika proses ini berlangsung terus-menerus, permukaan tanah akan mengalami degradasi, yang pada akhirnya berdampak pada penurunan produktivitas tanah, akumulasi sedimen di sungai dan waduk, serta dapat menyebabkan kerusakan pada ekosistem sekitar (Pimentel and Kounang, 1998; Morgan, 2005).

Saat ini, erosi tanah merupakan masalah global yang penting yang dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor alam maupun karena ulah manusia. Banyak metode telah digunakan dalam rangka menghitung tingkat erosi yang terjadi di suatu wilayah tertentu. Perhitungan tingkat erosi telah memiliki sejarah yang cukup panjang mulai dari zaman kuno yaitu ketika peradaban Mesir dan Mesopotamia telah menghadapi masalah akibat kehilangan tanah yang subur dan terjadi sedimentasi pada sungai. Kehilangan tanah subur ini berpengaruh terhadap produksi pertanian dan menyebabkan masalah lingkungan yang besar, akan tetapi metode perhitungan erosi secara kuantitatif baru berkembang secara signifikan pada

awal abad ke-20 terutama di Amerika Serikat. Pelopornya adalah Dust Bowl, yang melakukan penelitian intensif sehingga mengembangkan metode konservasi tanah yang efektif ketika terjadi praktik bertani yang buruk di daerah Great Plains sehingga terjadi kekeringan ekstrim dan terjadi erosi besar-besaran.

Tingkat erosi tanah berbeda-beda di berbagai kawasan di dunia, dipengaruhi oleh faktor-faktor alami serta kegiatan manusia. Tingkat erosi biasanya dievaluasi berdasarkan kecepatan pembentukan tanah dan dampak kerusakan yang ditimbulkan oleh erosi tersebut. Diperlukan strategi perlindungan tanah yang segera untuk menangani masalah di tingkat lokal sekaligus mempertimbangkan dampak yang terjadi di luar area tersebut. Banyak wilayah mengalami erosi serius yang membutuhkan penanganan segera, terutama terkait dampak lingkungan seperti penurunan kualitas air dan peningkatan emisi karbon. Erosi tanah merupakan proses dua tahap yang melibatkan pelepasan partikel tanah serta pengangkutannya oleh agen seperti air dan angin. Rainsplash diakui sebagai penyebab utama pelepasan partikel, sedangkan aliran air dan angin berperan besar dalam mengangkut partikel tersebut selama proses erosi.

Tingkat erosi biasanya dievaluasi berdasarkan kecepatan pembentukan tanah dan dampak kerusakan yang ditimbulkan oleh erosi tersebut. Diperlukan strategi perlindungan tanah yang segera untuk menangani masalah di tingkat lokal sekaligus mempertimbangkan dampak yang terjadi di luar area tersebut. Banyak wilayah mengalami erosi serius yang membutuhkan penanganan segera, terutama terkait dampak lingkungan seperti penurunan kualitas air dan peningkatan emisi karbon. Erosi tanah merupakan proses dua tahap yang melibatkan pelepasan partikel tanah serta pengangkutannya oleh agen seperti air dan angin. Rainsplash diakui sebagai penyebab utama pelepasan

partikel, sedangkan aliran air dan angin berperan besar dalam mengangkut partikel tersebut selama proses erosi.

Pada awal tahun 1990-an, model USLE mengalami revisi menjadi *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE). Pembaruan ini bertujuan untuk mengatasi berbagai keterbatasan model USLE asli dengan menambahkan komponen yang lebih dinamis, seperti variasi intensitas curah hujan, jenis vegetasi, serta praktik pengelolaan tanah. Model RUSLE juga disesuaikan agar dapat diterapkan pada berbagai kondisi geografis di luar Amerika Serikat (Renard *et al.*, 1997).

Lebih jauh lagi, perkembangan teknologi telah memungkinkan penerapan metode yang lebih presisi dan efisien dalam menghitung erosi tanah. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan teknologi penginderaan jauh memungkinkan para peneliti melakukan perhitungan erosi pada skala luas, termasuk tingkat nasional dan global. Teknologi ini memberikan kemampuan untuk melakukan pemetaan dan analisis mendalam terhadap berbagai faktor penyebab erosi, seperti kondisi topografi, pola penggunaan lahan, tutupan vegetasi, dan distribusi curah hujan. Beberapa model kontemporer, seperti *Water Erosion Prediction Project* (WEPP) dan *European Soil Erosion Model* (EUROSEM), yang telah dirancang untuk menangani proses erosi yang lebih kompleks. WEPP merupakan model berbasis proses yang dirancang untuk mensimulasikan erosi tanah dan sedimen dari skala lapangan hingga pada skala bentang lahan dan dapat diterapkan dalam berbagai skenario pengelolaan lahan dan kondisi iklim. Di sisi lain, EUROSEM menawarkan prediksi yang lebih rinci mengenai aliran permukaan, limpasan dan transportasi sedimen, khususnya pada kondisi hujan lebat yang ekstrem. Model ini memperhitungkan interaksi dinamis antara curah hujan, karakteristik tanah dan topografi sehingga lebih efektif dalam menggambarkan kompleksitas erosi tanah dibandingkan dengan

model-model sebelumnya (Flanagan, Gilley and Franti, 2007; Morgan and Duzant, 2007; Borrelli *et al.*, 2017).

Seperti yang sudah dijelaskan bahwa berbagai metode dan cara dilakukan untuk mengukur tingkat erosi yang terjadi pada suatu daerah atau wilayah tertentu. Untuk itu, perlu dilakukan evaluasi erosi dalam rangka menghitung dan menilai tingkat erosi yang terjadi pada suatu areal atau wilayah tertentu; bahkan sampai ke suatu bidang tanah tertentu. Selain itu, evaluasi juga dilakukan untuk mengetahui potensi erosi yang dapat menjadi ancaman bahaya pada suatu wilayah tertentu. Di dalam evaluasi erosi, diidentifikasi faktor-faktor penyebab serta menilai dampaknya terhadap lingkungan dan penggunaan lahan. Proses evaluasi dimulai dari pengumpulan langsung di lapangan, model prediktif erosi, serta analisis dengan menggunakan tools seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh. Hasil evaluasi digunakan untuk membuat teknik konservasi tanah dan air, serta mendesain suatu model penggunaan lahan yang berkelanjutan (Arsyad, 2010). Evaluasi erosi dapat dilakukan pada berbagai tingkatan, mulai dari skala mikro yaitu berupa petak atau lahan individu sampai ke skala makro (regional atau nasional). Metode yang digunakan untuk evaluasi bisa berbeda-beda tergantung pada skala dan tujuan evaluasi, namun secara umum mencakup model-model seperti Universal Soil Loss Equation (USLE), Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) dan penggunaan teknologi seperti *Light Detection and Ranging* (LiDAR) atau fotogrametri.

8.2 Pengaruh Skala Pengukuran Hasil Evaluasi Erosi Tanah

Skala pengukuran memiliki dampak yang signifikan terhadap metode dan hasil dalam evaluasi erosi tanah. Berbagai hasil penelitian telah membuktikan dalil ini. Pada skala mikro

(mm² hingga 1 m²), erosi sangat dipengaruhi oleh stabilitas agregat tanah. Beberapa faktor, seperti kelembaban tanah, kandungan bahan organik, dan aktivitas fauna tanah, terutama cacing tanah, memiliki peran yang krusial. Selain itu, frekuensi dan tingkat erosivitas dari hujan juga berperan penting dalam mengatur laju erosi melalui pelepasan partikel tanah (Morgan, 2005).

Hasil penelitian (Mounirou *et al.*, 2022) menemukan beberapa fakta terkait pengaruh skala pengukuran terhadap metode analisis tanah. Beberapa point penting tersebut antara lain :

1. Skala pengukuran memiliki pengaruh yang signifikan terhadap tingkat erosi tanah. Di tingkat plot, kehilangan tanah cenderung lebih tinggi, terutama pada area yang gundul dan terdegradasi, dibandingkan dengan plot yang dikelola dengan baik. Sebaliknya, pada skala Daerah Aliran Sungai (DAS), tingkat kehilangan tanah lebih rendah, yang menunjukkan adanya efek skala akibat redistribusi sedimen di dalam jaringan drainase.
2. Tipe tanah, kemiringan dan tutupan lahan biasanya konsisten di area kecil tersebut, sehingga memungkinkan pengidentifikasian unit-unit skala mikro yang berbeda berdasarkan karakteristik-karakteristik ini.
3. Jumlah pengulangan dalam percobaan berdampak pada ketepatan pengukuran kehilangan tanah. Sebagai contoh, untuk mencapai akurasi pengukuran $\pm 10\%$ dengan tingkat kepercayaan 95% pada jenis tanah yang berbeda, diperlukan jumlah pengulangan yang bervariasi, yang mencerminkan pengaruh skala serta variasi dalam kondisi tanah.
4. Pengukuran di lapangan dianggap lebih akurat untuk memperoleh data realistis mengenai kehilangan tanah, mengingat adanya variabilitas alami dalam kondisi tersebut.

Di sisi lain, eksperimen laboratorium menyediakan kondisi yang terkontrol untuk memahami proses yang terjadi, meskipun hasilnya mungkin memerlukan verifikasi melalui pengukuran di lapangan karena sifat buatan dari lingkungan laboratorium tersebut.

Pengaruh skala terhadap erosi tanah bersifat bervariasi dan dinamis, tergantung pada jenis erosi, curah hujan, dan sifat tanah. Meskipun skala pengukuran memiliki dampak yang signifikan terhadap evaluasi erosi tanah, faktor-faktor lingkungan dan metodologis yang berbeda juga harus diperhatikan karena dapat menambah variabilitas dalam analisis. Sebagai contoh, pemilihan variabel prediktor erosi dan inklusi sifat tanah yang spesifik untuk suatu lokasi dapat memengaruhi akurasi prediksi hasil erosi. Namun, pengaruh dari faktor-faktor ini mungkin berbeda tergantung pada skala yang digunakan dalam penelitian (Martinez *et al.*, 2017). Di samping itu, kestabilan temporal dari efek skala (seperti yang teramati pada tingkat kehilangan tanah tahunan) menunjukkan bahwa beberapa efek skala cenderung menunjukkan konsistensi yang lebih tinggi sepanjang waktu dibandingkan dengan yang lainnya (Bagarello *et al.*, 2018). Sangat penting untuk memahami dinamika ini dalam mengembangkan strategi konservasi tanah yang efektif dan meningkatkan model prediksi erosi.

8.3 Faktor-Faktor dan Cara Perhitungan Erosi

Evaluasi erosi tanah membutuhkan pemahaman mengenai berbagai faktor yang mempengaruhi erosi di suatu wilayah geografis tertentu baik yang luas maupun dalam skala sedang dan sempit. Mekanisme terjadinya erosi terdapat 3 tahapan, yaitu 1) *Detachment*; proses ini umumnya dipicu oleh energi kinetik yang dihasilkan oleh tetesan hujan yang jatuh atau oleh gesekan angin pada permukaan tanah. Tetesan hujan dengan

kecepatan tinggi mampu merusak agregat tanah, sehingga menyebabkan terlepasnya partikel-partikel kecil. Selain itu, aktivitas manusia, hewan, dan penggunaan alat pertanian juga berkontribusi terhadap terjadinya detasemen partikel tanah; 2) *Transportation*, yaitu tahap dimana partikel tanah yang telah terlepas dipindahkan ke lokasi/tempat lain oleh agen pengikis. Aliran air yang membawa partikel-partikel tanah ini melalui berbagai macam saluran seperti *overland flow*, riil flow atau saluran lain yang lebih besar. Sementara itu, angin berfungsi mengangkut partikel-partikel tanah yang lebih ringan melalui mekanisme seperti saltasi, suspensi, dan creep. Efektivitas agen-agen ini dalam mengangkut material tanah sangat bergantung pada kekuatan serta volume yang dimiliki. 3) *Deposisi/sedimentation*, adalah suatu keadaan dimana partikel tanah yang terangkut oleh agen pengangkut tertumpuk pada suatu lokasi tertentu karena perubahan kemiringan lahan atau karena berkurangnya kekuatan aliran air. Proses deposisi menyebabkan akumulasi sedimen di lokasi-lokasi tertentu seperti dataran banjir, kaki bukit, atau dasar waduk (Hardjowigeno and Widiatmaka, 2007).

Berikut ini adalah beberapa faktor utama yang berperan dalam proses dan perhitungan tingkat erosi sekaligus cara perhitungan dan analisisnya untuk menghitung tingkat erosi pada suatu wilayah.

1. Faktor Iklim

Faktor ini merujuk pada potensi curah hujan, limpasan dan untuk memicu terjadinya erosi. Intensitas dan frekuensi kejadian curah hujan memainkan peran penting dan krusial di wilayah tropis, karena faktor-faktor ini meningkatkan kekuatan tetesan hujan dan pembentukan limpasan sehingga pada akhirnya dapat mengakibatkan kehilangan tanah (Renard *et al.*, 1997; Morgan, 2005; Kumar and Singh, 2021).

Faktor iklim yang paling berpengaruh terhadap erosi di daerah tropis yaitu curah hujan yang dikenal dengan erosivitas.

Erosivitas hujan berkaitan dengan kemampuan hujan untuk menyebabkan terjadinya erosi pada tanah. Ada beberapa faktor yang berpengaruh terhadap erosivitas yaitu intensitas, durasi, serta pola distribusi curah hujan. Energi dari air hujan yang jatuh mengenai permukaan tanah menyebabkan partikel tanah terlepas dan kemudian diangkut melalui aliran permukaan. Pengukuran erosivitas menggunakan indeks seperti EI_{30} , yang mempertimbangkan total hujan serta intensitas maksimumnya selama periode 30 menit.

Rumus untuk perhitungan EI_{30} adalah sebagai berikut (Wischmeier and Smith, 1978)

$$E = 916 + 331 \log_{10} I$$

Dimana nilai E adalah air hujan ($\text{joule/m}^2/\text{mm}$) hujan dan I adalah intensitas curah hujan (inci/jam). Dalam perkembangan, banyak modifikasi untuk menyesuaikan dengan kondisi di berbagai wilayah di Indonesia. Misalnya di dalam Hardjowigeno dan Widiatmaka, (2007) menyebutkan bahwa

$$E = 210 + 89 \log I$$

Erosivitas dapat dihitung untuk harian, bulanan maupun erosivitas tahunan.

Jika ingin menghitung erosivitas harian, digunakan persamaan :

$$RH = \frac{2,467(Rh)^2}{0,02727 + 0,275}$$

Dimana RH = Erosivitas Hujan Harian

Rh = Curah Hujan

Untuk menghitung erosivitas bulanan, digunakan persamaan :

$$RM = 6,119 (Rain)^{1,21} \times (Days)^{-0,47} \times (Max. P)^{0,53}$$

Dimana RM = Erosivitas Hujan Bulanan

(Rain)^{1,21} = Curah Hujan bulanan cm)

(Days)^{-0,47} = Banyaknya hari hujan setiap bulan

(Max.P)^{0,53} = Hujan harian maksimum (cm)

Untuk menghitung erosivitas hujan tahunan umumnya dari akumulasi curah hujan bulanan. Akan tetapi, banyak yang saat ini mengembangkan rumus untuk menghitung erosivitas hujan tahunan. Sebagai contoh adalah persamaan umum yang dikembangkan oleh Kusumandari dan Soedjoko (2014) :

$$R = 38,8 + 0,35 (CH)$$

Dimana R = erosivitas Hujan tahunan dan CH= Curah Hujan tahunan (mm)

2. Faktor Tanah

Kerentanan tanah terhadap erosi dipengaruhi oleh sifat-sifat mekanis dan kimianya. Beberapa faktor yang berkontribusi signifikan meliputi tekstur tanah, struktur, kandungan bahan, dan tingkat permeabilitas. Tanah yang memiliki kadar liat tinggi atau memiliki agregasi yang buruk cenderung lebih rentan terhadap proses erosi.

Nilai Erodibilitas tanah dihitung dengan menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh (Wischmeier and Smith, 1978) dalam (Arsyad, 2010) :

$$K = \frac{2.713 M^{1.14} (10^{-4}) (12-a) + 3.25(b-2) + 2.5 (c-3)}{100}$$

Keterangan :

K = Erodibilitas tanah

a = Persen unsur organik (% C Organik x 1,724)

M = Parameter ukuran butir tanah (% debu + % pasir halus)
x (100- % lempung)

b = Kode (nilai) struktur tanah

c = Kode (nilai) permeabilitas tanah

3. Topografi

Topografi pada suatu daerah berpengaruh dalam menentukan tingkat erosi tanah yang terjadi. Faktor-Faktor pentign seperti kemiringan (*slope*), panjang lereng (*slope length*) dan bentuk lereng (*slope shape*) sangat berpengaruh terhadap kecepatan serta volume tanah yang tererosi. Lereng dengan kemiringan yang lebih curam akan mempercepat aliran air, meningkatkan kapasitas untuk mengangkut sedimen serta berpotensi lebih besar untuk menyebabkan terlepasnya partikel tanah dan transportasi sedimen. Selain itu, semakin panjang lereng, semakin besar akumulasi volume aliran air yang dihasilkan sehingga menambah kekuatan pada bagian bawah lereng. Bentuk suatu lereng, baik itu cembung, cekung, maupun datar juga berperan dalam menentukan distribusi aliran dan pengendapan sedimen, yang pada gilirannya dapat

mempercepat atau memperlambat proses erosi di berbagai lokasi dalam lanskap tersebut.

Pengukuran kelerengan secara actual di lapangan dilakukan dengan menggunakan Clinometer dan selanjutnya hasil pengukuran diklasifikasikan ke dalam penilaian kelas lereng, sesuai dengan klasifikasi menurut Hardjowigeno and Widiatmaka (2007). Tabel Klasifikasi kelas lereng dan panjang lereng seperti pada tabel 8.1.

Tabel 8. 1. Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi (Hammer, 1981)

No.	Kelas Lereng (%)	Topografi	Nilai LS
1	0 – 8	Datar-Landai	0, 25
2	8 – 15	Landai – Agak Miring	1, 20
3	15 – 25	Agak Miring – Miring	4, 25
4	25 – 45	Miring – Agak Curam	9, 50
5	> 45	Curam – Sangat Curam	12, 00

4. Penutupan lahan

Vegetasi berguna untuk lapisan pelindung permukaan tanah dari pukulan langsung air hujan yang jatuh. Elemen permukaan tanah seperti daun dan kanopi tumbuhan berperan dalam menyerap dari tetesan hujan, aliran air, dan sehingga mengurangi daya yang mencapai tanah. Selain itu, akar tanaman berfungsi meningkatkan kekuatan tanah dan membantu menjaga stabilitas lereng (Morgan, 2005). Umumnya dalam perhitungan erosi di Indonesia, faktor penutupan lahan dihitung dengan menggunakan Nilai Faktor C dengan Pertanaman Tunggal dari Abdulrachman,

Sofiyah dan Kurnia (1981) dalam (Hardjowigeno and Widiatmaka, 2007).

5. Pengaruh campur tangan manusia

Pengaruh keterlibatan manusia memiliki sangat besar terhadap erosi tanah, baik itu mempercepat atau dalam mencegah erosi. Kegiatan yang dilakukan seperti pertanian secara intensif, alihfungsi lahan hutan dengan membangun infrastruktur dapat merusak struktur tanah, serta menghilangkan vegetasi penutup, dan meningkatkan aliran permukaan. Kondisi ini dapat mempercepat proses erosi. Umumnya, berbagai penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan lahan yang intensif di terutama pada lahan pertanian dan hutan yang terbakar, mengakibatkan erosi tanah yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan lahan yang tidak terganggu. Faktor seperti kemiringan lereng, jenis penggunaan lahan, dan intensitas curah hujan semuanya berkontribusi signifikan terhadap kehilangan tanah. Berbagai penelitian yang telah dilakukan juga menyarankan bahwa kebijakan konservasi tanah yang tepat sangat penting guna mengurangi dampak negatif dari perubahan penggunaan lahan.

Dalam penelitian tentang erosi tanah, umumnya nilai tindakan konservasi tanah mengacu pada hasil penelitian dari Abdulrachman, Sofiyah dan Kurnia (1981) dalam (Hardjowigeno and Widiatmaka, 2007).

Dengan demikian, persamaan umum yang biasa digunakan untuk menghitung nilai erosi dengan menggunakan rumus *Universal Soil Loss Equation* (USLE) :

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

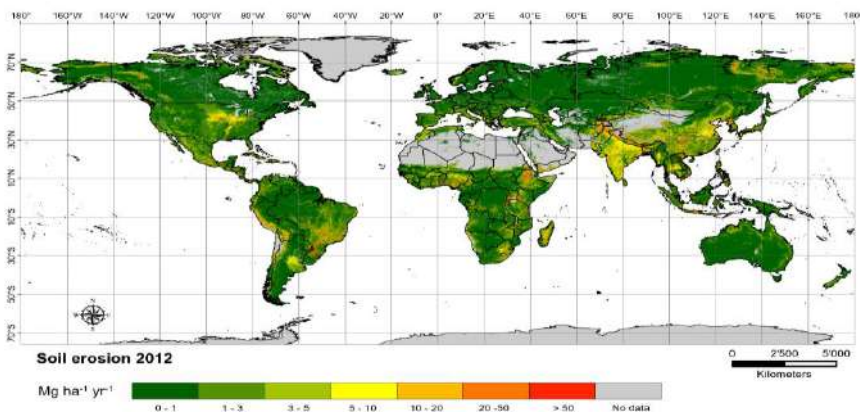
Keterangan :

- A = Besarnya kehilangan tanah per satuan luas lahan ($\text{ton.ha}^{-1}\text{thn}^{-1}$).
- R = Erosivitas curah hujan dan aliran permukaan untuk daerah tertentu
- K = Erodibilitas tanah
- L = Faktor panjang kemiringan lereng
- S = Faktor kemiringan lereng
- C = Faktor pengelolaan tanaman
- P = Faktor tindakan konservasi tanah

8.4 Evaluasi Erosi Tanah pada Skala Makro

Evaluasi erosi tanah pada skala makro dilakukan dengan mencakup area yang luas yaitu dengan pendekatan regional, nasional atau pulau (Poesen *et al.*, 2003; Morgan, 2005; Panagos *et al.*, 2015). Evaluasi ini penting dampak penting terhadap kondisi lingkungan, keadaan pertanian dan yang tidak kalah pentingnya ada kondisi sosial ekonomi. Arsyad (2010), mengatakan bahwa evaluasi erosi secara makro juga dapat dilakukan pada peta skala 1:1.000.000 atau lebih kecil, dan umumnya menggunakan faktor iklim sebagai dasar. Erosi tanah pada skala makro di Indonesia menjadi masalah lingkungan yang serius, mempengaruhi kesuburan tanah, kualitas air, serta berbagai layanan ekosistem. Proses evaluasi erosi mencakup pemahaman mengenai faktor-faktor yang menyebabkan kehilangan tanah serta penggunaan model-model prediktif untuk mengelola erosi dengan lebih efektif. Metode yang biasa dipakai adalah model-model yang bersifat prediktif dengan menggunakan tools berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh.

Data pemantauan dan evaluasi erosi secara global dapat dilihat berbagai platform yang dapat diakses secara online. Data yang ada juga tidak hanya erosi tetapi bisa berupa data curah hujan, data tanah, data biomassa, dan lain-lain. Sebagai contoh adalah Global Soil Erosion Modelling platform (GloSEM) yang dapat diakses pada <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/global-soil-erosion>. Saat ini yang tersedia ada GloSEM 1.3 yang dibuat dengan resolusi 100 m dan dibuat dengan menggunakan penggunaan lahan yang disediakan oleh *European Spatial Agency* (ESA) dengan menyediakan data perubahan tanah pada berbagai skenario iklim sampai dengan tahun 2070. Hasil dari GloSEM telah digunakan oleh berbagai kalangan seperti peneliti dalam disiplin ilmu yang terkait untuk memetakan sungai-sungai yang mengalir bebas di dunia, mengukur efek negatif erosi terhadap hilangnya nutrisi tanah, membuat hubungan antara erosi tanah dan model ekonomi, mengukur degradasi lahan dan mempertimbangkan strategi alternatif untuk konservasi terumbu karang di antara hal-hal lainnya.



Gambar 8. 1. Erosi di dunia pada tahun 2012
(Sumber : <https://esdac.jrc.ec.europa.eu/themes/global-soil-erosion>)

Saat ini di Indonesia sudah tersedia banyak platform yang menyediakan berbagai data spasial secara online baik berupa data vektor maupun data raster. Misalnya data tutupan lahan, data jenis tanah, data kelereng, data geologi dan berbagai data spasial lainnya.

8.4.1 Contoh Evaluasi Erosi dalam Skala Makro

Penelitian untuk evaluasi erosi skala makro telah cukup banyak dilakukan baik di dalam maupun di luar negeri. Bezak *et al.*, (2024) melakukan penelitian untuk mengevaluasi model potensi erosi (EPM) dan versi modifikasinya (MePM) yang diamati di seluruh dunia secara global. Metode yang digunakan yaitu analisis sensitivitas untuk menentukan parameter yang signifikan mempengaruhi model. Hasil penelitian menunjukkan bahwa EPM tidak cocok untuk diterapkan di daerah dingin, sedangkan sebaliknya MePM dapat mengatasi batasan ini sehingga dapat diterapkan secara lebih luas. Tingkat erosi hasil analisis dengan EPM adalah 1,5—2,5 kali lebih besar dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan MePM. Hal ini menunjukkan bahwa MePM dapat memberikan hasil perhitungan erosi tanah yang lebih konservatif dan berpotensi lebih akurat dibandingkan EPM. Hasil rekomendasi lain dari penelitian ini adalah penulis menyarankan agar dapat meningkatkan jumlah sampel DAS atau lokasi yang digunakan untuk analisis karena di dalam penelitian ini menggunakan 116 DAS sebagai wilayah sampel di seluruh dunia. Penulis juga merekomendasikan agar dilakukan penelitian lebih lanjut dari MePM di DAS kecil dan menengah di berbagai zona iklim untuk lebih memahami kelebihan dan keterbatasannya. Benaud *et al.*, (2020) melakukan penelitian dengan menggunakan geodata Inggris untuk menghitung erosi tanah yang terjadi secara nasional dan memungkinkan analisis menyeluruh terkait pola dan laju erosi tanah, serta memberikan gambaran rinci tentang keadaan erosi tanah saat ini dalam skala luas baik di Eropa bahkan global. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat

percepatan luas tingkat erosi tanah. Hal ini menunjukkan bahwa erosi tanah bukan hanya masalah lokal tetapi juga menjadi masalah nasional sehingga membutuhkan perhatian dan tindakan yang seerius untuk mengurangi dampaknya.

8.4.2 Kelebihan dan Kelemahan Evaluasi Erosi Skala Makro

Evaluasi erosi pada skala makro memiliki beberapa kelebihan akan tetapi juga terdapat beberapa kelemahan atau keterbatasan. Kelebihan evaluasi erosi secara makro antara lain :

1. Evaluasi erosi pada skala makro dapat membantu untuk memetakan dan menganalisis erosi pada suatu area/wilayah yang luas. Hal ini dapat memberikan gambaran secara menyeluruh tentang tingkat dan pola erosi di berbagai bentang lahan. Hal ini dapat bermanfaat untuk menyusun perencanaan penggunaan lahan dan pengelolaan sumber daya alam agar lebih lestari
2. Evaluasi erosi pada skala makro menggunakan data secara historis sehingga dapat membantu dalam mengidentifikasi tren erosi tanah jangka panjang, serta dapat berguna untuk memodelkan dan memprediksi potensi erosi yang akan terjadi pada suatu wilayah tertentu pada masa yang akan datang. Hal ini juga sangat penting untuk mengidentifikasi dampak perubahan iklim dan memberikan rekomendasi pengelolaan dan aktivitas manusia terhadap erosi.
3. Hasil evaluasi erosi pada skala makro dapat menjadi dasar bagi penentuan kebijakan dan strategi untuk mitigasi dalam mengatasi permasalahan erosi. Hal ini akan berkaitan dengan penyusunan rencana konservasi dan restorasi tanah dan lahan

Selain kelebihan tersebut, terdapat beberapa kelemahan dalam evaluasi erosi pada skala mikro, antara lain :

1. Ketidakakuratan dalam detail spasial adalah salah satu kelemahan utama dari evaluasi erosi pada skala makro.

- Data agregat mungkin tidak dapat menangkap variasi detail yang signifikan dalam kondisi tanah, vegetasi, dan topografi. Ini dapat mempengaruhi proses evaluasi erosi.
2. Faktor-faktor tertentu yang berkontribusi terhadap erosi pada skala lokal, seperti praktik pertanian tertentu yang berlaku secara lokal, pemeliharaan lahan atau dampak aktivitas manusia yang lebih kecil, cenderung diabaikan dalam evaluasi makro. Hal ini dapat menyebabkan pemahaman yang kurang mendalam tentang penyebab erosi dan solusi erosi di tingkat lokal.
 3. Data sekunder seperti citra satelit dan survei tanah yang telah ada sering kali diperlukan untuk evaluasi erosi skala makro. Keandalan hasil evaluasi dapat berkurang karena keterbatasan kualitas dan resolusi data ini.

8.5 Evaluasi Erosi Tanah pada Skala Meso

Evaluasi erosi pada skala meso melibatkan cakupan wilayah yang lebih luas dari skala mikro tetapi lebih kecil dari skala makro. Sejauh ini belum ada batasan yang jelas tentang luas areal atau wilayah sehingga tergolong dalam skala meso. Tetapi dengan membaca literatur-literatur yang ada, tergambar bahwa yang tergolong dalam evaluasi erosi skala meso adalah pada skala Daerah Aliran Sungai (DAS) atau jika dihubungkan dengan wilayah secara administratif maka hanya sampai pada skala kabupaten atau provinsi.

Evaluasi erosi pada skala meso bertujuan untuk menganalisis dan memahami dinamika serta pola erosi dalam skala yang lebih besar dari suatu areal yang sempit. Penilaian ini sangat penting guna mengetahui area atau wilayah yang berisiko tinggi terhadap erosi yang akan memungkinkan pengembangan strategi pengelolaan yang lebih efisien. Untuk itu, upaya yang dilakukan ini bertujuan untuk mengurangi berbagai dampak negatif terhadap produktivitas lahan pertanian dan serta di lain pihak akan mendukung keberlanjutan ekosistem. Melalui

pemahaman yang lebih baik tentang proses erosi, kita dan para stakeholder lainnya dapat merumuskan langkah-langkah mitigasi yang tepat agar menjaga kualitas tanah dan keseimbangan lingkungan.

Dalam evaluasi erosi pada skala meso, ada banyak metode dan pendekatan yang dapat digunakan. Metode ini mencakup analisis geomorfologi, pemetaan erosi menggunakan citra satelit dan model secara matematis yang dapat mensimulasikan proses erosi pada suatu bentang lahan. Penggunaan model seperti *Universal Soil Loss Equation* (USLE) dan *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) memungkinkan peneliti untuk menghitung laju erosi berdasarkan parameter seperti curah hujan, kemiringan, erodibilitas tanah, tutupan vegetasi dan tindakan konservasi yang dilakukan.

8.5.1 Contoh Evaluasi Erosi dalam Skala Meso

Berbagai contoh evaluasi erosi pada skal makro telah dilakukan baik di dalam maupun di luar negeri. Puay *et al.*, (2019) melakukan penelitian erosi di DAS Manikin Baki, Nusa Tenggara Timur dengan perhitungan menggunakan metode USLE. Parameter yang diukur adalah Erossivitas (R), Eroddibilitas (K), Panjang lereng (L), Kemiringan Lereng (S), Faktor Penutupan lahan (C) dan penilaian terhadap tindakan konservasi yang dilakukan (P). Sumber data diperoleh dari data primer yang diambil di lapangan dan data sekunder yang diperoleh dari dinas atau instansi-instansi terkait. Hasil penelitian menunjukkan bahwa erosi tanah tertinggi terjadi pada lahan pertanian lahan kering (60,22% dengan luas tutupan lahan 11% dari luas total), sedangkan erosi terkecil terjadi pada lahan hutan (0,20% dengan luas tutupan lahan 42% dari luas total). Temuan lain menyebutkan bahwa erosi tanah di DAS Manikin Baki didominasi oleh kelas I (12.251,77 Ha ; 64,38% dari luas total), sedangkan erosi terkecil didominasi oleh kelas IV (1,59% dari luas total).

Yunita *et al.*, (2024) membandingkan beberapa formula erosivitas hujan dari berbagai negara di Asia untuk menilai kesesuaian penerapannya di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi metode yang paling tepat dalam mengukur erosivitas curah hujan sehingga dapat diaplikasikan secara efektif dalam konteks kondisi iklim dan lingkungan di Indonesia. Hasilnya ditemukan bahwa rumus Merit *et al.* (2003) yang pernah diterapkan di Thailand yaitu $R = 38.5 + 0.35P$ (P = Curah Hujan Tahunan) yang lebih cocok untuk diterapkan di Sub DAS Riam Kanan. Sedangkan untuk perhitungan erosi di Sub DAS Brantas lebih cocok menggunakan rumus Utomo (1994) yaitu $R = -8,7921 + 7,0049Rb$ (Rb = Curah Hujan Bulanan) dan rumus Babu *et al.* (2004) yaitu $R = 81.5 + 0.38P$ (P = Curah Hujan Tahunan). Temuan penelitian ini memberikan panduan penting dalam memilih formula erosivitas hujan yang paling sesuai untuk kondisi spesifik di Indonesia. Dengan demikian, hal ini berpotensi meningkatkan akurasi perhitungan erosi tanah serta mendukung diterapkannya praktik pengelolaan yang lebih efektif di wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS).

Selain penelitian ini, Andriyani *et al.*, (2024) juga membandingkan penerapan perhitungan erosi dengan menggunakan metode USLE dan RUSLE di DAS Mayang, Kabupaten Jember. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan data curah hujan bulanan pada model USLE dan RUSLE tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan. Ini menandakan bahwa pemilihan persamaan erosivitas mungkin tidak berpengaruh terhadap hasil perhitungan erosi ketika menggunakan data curah hujan bulanan. Akan tetapi, hasil yang berbeda justru terlihat pada penggunaan data curah hujan tahunan dimana model USLE memperoleh hasil erosi sebesar 63% untuk klasifikasi kelas erosi rendah sedangkan model RUSLE memperoleh sebesar 59% untuk klasifikasi yang sama. Hal ini mengindikasikan bahwa hasil perhitungan erosi dengan

persamaan USLE memperoleh hasil perhitungan yang lebih rendah dibandingkan dengan model RUSLE.

8.5.2 Kelebihan dan Kelemahan Evaluasi Erosi dalam Skala Meso

Ada beberapa kelebihan dan kelemahan evaluasi erosi dalam skala meso. Kelebihan tersebut antara lain :

1. Evaluasi erosi pada skala meso memungkinkan pengamatan yang lebih rinci dibandingkan dengan evaluasi makro, sehingga dapat menangkap variasi lokal dalam parameter seperti kemiringan lahan, vegetasi, dan penggunaan lahan. Hal ini memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana berbagai faktor lingkungan dan tindakan manusia berinteraksi untuk mempengaruhi erosi tanah di tingkat lanskap tertentu.
2. Hasil evaluasi dapat digunakan untuk merencanakan intervensi pengelolaan lahan yang lebih spesifik, seperti memilih jenis tanaman penutup tanah, membangun terasering, atau membangun sistem drainase yang disesuaikan dengan kondisi lokal, karena skala meso mencakup wilayah yang lebih kecil namun lebih detail.
3. Untuk kebijakan konservasi dan perencanaan penggunaan lahan di tingkat regional, evaluasi yang dilakukan pada skala ini sangat bermanfaat. Data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk membuat kebijakan pengelolaan sumber daya alam yang lebih efisien.

Kelemahan evaluasi erosi pada skala meso antara lain :

1. Dalam skala meso, evaluasi erosi seringkali memerlukan banyak waktu, biaya, dan tenaga ahli. Jika mencakup area yang luas atau dengan keragaman topografi dan penggunaan lahan yang tinggi, pengumpulan dan analisis data lapangan yang mendalam sangat diperlukan

2. Walaupun skala meso memberikan detail yang lebih baik, hasil yang diperoleh mungkin tidak sepenuhnya mewakili kondisi pada skala yang lebih besar atau lebih kecil. Hal ini dapat menjadi masalah saat membuat kebijakan yang bersifat umum karena variabilitas lokal yang tinggi dapat membatasi generalisasi hasil penelitian.
3. Evaluasi pada skala meso melibatkan penggunaan model yang lebih canggih dan pengolahan data yang kompleks. Hal ini dapat menjadi tantangan untuk memahami hasil dan menerapkannya dalam pengelolaan lahan, terutama jika model yang digunakan tidak memperhitungkan semua variabel lingkungan yang penting.

8.6 Evaluasi Erosi Tanah pada Skala Mikro

Evaluasi potensi erosi pada skala mikro mencakup wilayah yang lebih terbatas, seperti pada sebidang tanah tertentu. Semua parameter pada bidang tanah tersebut dianalisis kemudian dihitung potensi erosinya, misalnya dengan menggunakan persamaan USLE. Selanjutnya, bidang lahan tersebut dapat dianalisis Indeks Bahaya erosinya, dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Indeks Bahaya Erosi (IBE)} = \frac{\text{Erosi Potensial}}{T}$$

Keterangan: Erosi Potensial (ton/ha/tahun) dan T adalah besarnya erosi yang masih dapat untuk ditolerir (ton/ha/thn).

Setelah diketahui nilai IBE, sudah dapat dikalsifikasikan bidang tanah atau lahan tersebut.

Tabel 8. 2. Klasifikasi Indeks Bahaya Erosi (Hammer, 1981)

No	Nilai Indeks Bahaya Erosi	Klasifikasi IBE
1	< 1,0	Rendah
2	1,01 - 4,0	Sedang
3	4,01 – 10,0	Tinggi
4	> 10,01	Sangat Tinggi

Sumber : Arsyad, S. (2010)

Beberapa bentuk evaluasi erosi skala mikro adalah sebagai berikut :

1. Pengamatan Lapangan

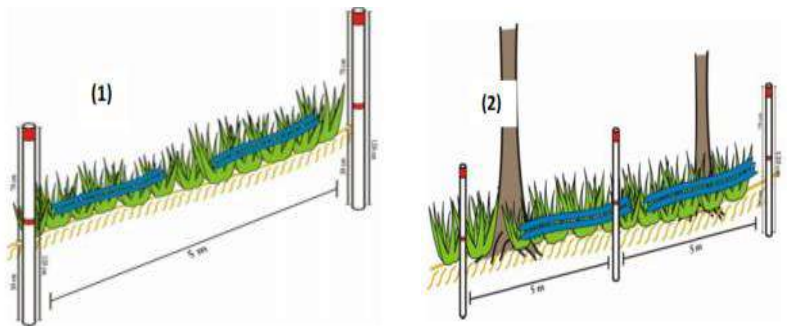
Observasi langsung terhadap kondisi erosi di lapangan umumnya menghasilkan data yang bersifat kasar dan kualitatif. Metode ini cenderung memberikan gambaran umum mengenai tingkat keparahan dan pola distribusi erosi, namun kurang akurat dalam menyajikan informasi kuantitatif yang detail. Oleh karena itu, meskipun dapat digunakan sebagai langkah awal untuk identifikasi masalah erosi, pendekatan ini memerlukan dukungan metode pengukuran yang lebih presisi untuk memperoleh data yang lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah.

Pengamatan ini bisa dilakukan pada saat hujan atau saat tidak ada hujan sekalipun. Jika pengamatan dilakukan pada saat tidak hujan maka gejala erosi dapat dilihat pada tanda perubahan warna tanah yang telah mengalami erosi. Tanah yang sudah mengalami erosi biasanya berwarna lebih pucat disebabkan karena lapisan *top soil* yang sudah terangkut ke tempat lain. Indikator lain yaitu dengan memperhatikan akar tanaman yang ada. Jika banyak akar

yang tanaman nampak ke permukaan serta terdapat alur-alur yang pada tanah berarti lokasi tersebut sudah terjadi erosi.

2. Metode tongkat erosi

Metode ini merupakan salah satu metode paling sederhana dalam melakukan pengamatan erosi dimana beberapa tongkat berskala dipasang mengikuti arah lereng dengan jarak tertentu. Pengamatan terhadap erosi yang terjadi dengan melihat perubahan yang pada permukaan tanah. Besarnya erosi diukur berdasarkan perubahan yang terjadi pada permukaan tanah yang hilang, umumnya dalam satuan milimeter.



Gambar 8. 2. Tongkat erosi berbahan stainless

Sumber : (Sarminah, Kristianto and Syafrudin, 2017)

Rumus perhitungan rata-rata tanah yang tererosi adalah:

$$E = \frac{a + b + c + d}{n}$$

Ket :

E = tebal rata-rata tanah yang hilang

a = Tebal tanah yang hilang pada titik a (cm)

b = Tebal tanah yang hilang pada titik b (cm)

c = Tebal tanah yang hilang pada titik c (cm)

d = Tebal tanah yang hilang pada titik d (cm)

n = jumlah banyaknya tongkat yang dipasang

Contoh besarnya erosi yang terjadi dapat dihitung sebagai berikut :

$$a = 5 \text{ cm} \quad d = 3 \text{ cm}$$

$$b = 4 \text{ cm} \quad e = 3 \text{ cm}$$

$$c = 4 \text{ cm}$$

Jumlah tanah yang tererosi adalah:

$$E = \frac{a + b + c + d}{n}$$

$$E = \frac{5 \text{ cm} + 4 \text{ cm} + 4 \text{ cm} + 3 \text{ cm}}{4}$$

$$E = \frac{16 \text{ cm}}{4}$$

$$E = 4 \text{ cm}$$

Bila BV tanah = 2 gr/cm³ maka erosi per hektar adalah

1 ha x 4 cm x 2 gr/cm³ = 8 ton/ha/tahun

3. Pengukuran erosi langsung di lapangan dengan Plot Penelitian

Pengukuran erosi tanah secara langsung di lapangan melalui plot penelitian adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan data empiris mengenai kehilangan tanah akibat erosi air. Metode ini melibatkan pembuatan plot atau petak uji di lapangan untuk mengukur jumlah tanah yang hilang selama periode waktu tertentu, biasanya setelah hujan atau peristiwa erosi lainnya. Teknik ini memberikan hasil yang sangat akurat dalam mengukur erosi di suatu lokasi, tetapi juga membutuhkan waktu, tenaga, dan biaya yang cukup besar.

Ada beberapa langkah dalam melakukan pengukuran erosi dengan plot penelitian, antara lain :

a. Pemilihan Lokasi dan Ukuran Plot

Lokasi plot penelitian dipilih berdasarkan jenis tanah, topografi, tutupan lahan, dan penggunaan lahan yang mewakili area yang lebih luas. Plot biasanya ditempatkan di lereng dengan sudut kemiringan tertentu untuk meniru kondisi lapangan sebenarnya. Ukuran plot bervariasi, tetapi standar yang umum digunakan adalah 2 meter lebar dan 20 meter panjang untuk plot erosi kecil. Ada juga yang menggunakan ukuran panjang 22 meter dan lebar 1,8 meter. Ukuran plot yang lebih besar dapat digunakan jika ingin mengukur variasi erosi yang lebih luas. Plot dibangun dengan memisahkan area uji dari area sekitarnya menggunakan dinding penghalang yang terbuat dari logam, kayu, atau bahan tahan air lainnya. Dinding ini

bertujuan untuk mencegah air dan tanah dari luar plot memasuki area pengukuran. Bagian bawah plot dibuat sedikit miring untuk mengarahkan aliran air permukaan menuju tangki penampungan atau alat pengukur.

- b. Pengukuran data curah hujan dilakukan untuk menganalisis hubungan antara jumlah tanah yang hilang dengan intensitas hujan yang terjadi. Alat pengukur hujan ditempatkan di dekat plot penelitian untuk mencatat jumlah curah hujan selama periode studi berlangsung
- c. Sistem drainase di bagian bawah plot diarahkan ke tangki pengumpulan yang berfungsi untuk menampung limpasan air beserta sedimen yang terbawa. Setelah setiap kejadian hujan, sedimen yang tererosi dikumpulkan, dikeringkan, dan ditimbang untuk memperoleh estimasi kuantitatif kehilangan tanah. Apabila penelitian berlangsung dalam jangka waktu yang lama, pengumpulan sedimen dilakukan secara berkala sesuai dengan jadwal yang ditentukan
- d. Sedimen yang tererosi dan terkumpul di tangki pengumpulan kemudian dipisahkan dari air menggunakan metode penyaringan. Setelah proses pengeringan, sedimen ini ditimbang untuk menghitung jumlah kehilangan tanah yang terjadi akibat erosi
- e. Data dari berbagai kejadian hujan dianalisis untuk mengevaluasi keterkaitan antara intensitas hujan, jenis penggunaan lahan, kemiringan, serta kehilangan tanah. Analisis ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang mempengaruhi tingkat erosi di area tersebut.



Gambar 8. 3. Plot Pengamatan Erosi

Sumber :

<https://budisantosofoforesterindonesia.blogspot.com/2011/04/perhitungan-erosi-menggunakan-metode.html>

8.6.1 Contoh Evaluasi Erosi dalam Skala Mikro

Saat ini, umumnya perhitungan tingkat erosi dilakukan pada skala yang luas, misalnya berbasis DAS, Wilayah administratif seperti kecamatan, kabupaten ataupun provinsi dengan menggunakan pendekatan SIG dan penginderaan jauh. Akan tetapi, banyak juga terdapat penelitian-penelitian yang berbasis skala mikro. Misalnya penelitian yang dilakukan oleh Sarminah, Kristianto and Syafrudin (2017), yang melakukan Analisis untuk mengetahui Tingkat Bahaya Erosi pada Kawasan Reklamasi Tambang Batubara PT Jembayan Muarabara Kalimantan Timur. Penelitian dilakukan dengan menggunakan tongkat (*stick*) erosi pada petak yang berukuran 20 m x 20 m sebanyak 3 PU yang dipasang masing-masing pada lokasi stokck Soil, Disposal dan Revegetasi. Dari hasil pengamatan kemudian menemukan bahwa laju erosi potensial tertinggi pada wilayah disposal aktif dengan erosi sebesar 2822,40 ton/ha/tahun. Sedangkan laju erosi terendah terjadi pada areal revegetasi dengan tingkat erosi sebesar 499,12 ton/ha/tahun.

Wajarwati dan Kusumandari (2016), juga melakukan Pendugaan Erosi Dengan Metode Tongkat Pada Areal Bekas Pemanenan di IUPHHK-HA PT Suka Jaya Makmur, Kalimantan Barat dengan menggunakan tongkat erosi. Penelitian untuk mengetahui tingkat erosi pada bekas jalan sarad dan bekas Tempat Penumpukan kayu (TPn). Hasilnya, tingkat erosi pada bekas TPn lebih besar daripada tingkat erosi pada bekas jalan sarad di berbagai kelerengan.

Selain penelitian dengan tongkat erosi yang telah dijelaskan di atas, penelitian dengan menggunakan plot kecil dilakukan oleh (Wainwright, Parsons and Abrahams, 2000) di wilayah Barat Daya Amerika untuk mengetahui adanya laju infiltrasi dan karakteristik aliran air antara area padang rumput dan semak belukar. Simulasi hujan buatan dilakukan pada plot berukuran antara 1 m² hingga sekitar 500 m² untuk mempelajari perubahan proses dan laju fluks yang terjadi akibat perubahan tutupan lahan dari padang rumput ke semak belukar. Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi laju infiltrasi, hidrolika aliran, laju erosi percik dan laju transport nutrisi tanah antara padang rumput dan semak. Penelitian ini memiliki berguna untuk mengetahui dampak perubahan vegetasi terhadap pergerakan air dan erosi tanah yang terjadi di wilayah semi-arid.

8.6.2 Kelebihan dan Kelemahan Evaluasi Erosi Skala Mikro

Terdapat beberapa kelebihan evaluasi skala mikro, antara lain :

1. Dalam skala mikro, evaluasi erosi memungkinkan pengukuran yang sangat rinci pada plot atau area kecil. Hal ini memungkinkan untuk menemukan variasi lokal yang signifikan dalam parameter seperti tekstur tanah, kemiringan lereng, dan praktik pengelolaan lahan, yang mungkin tidak terlihat pada skala yang lebih besar
2. Metode ini membantu memahami dinamika khusus proses erosi di suatu tempat tertentu, termasuk

hubungan antara variabel fisik seperti tingkat hujan dan kondisi vegetasi. Ini sangat penting untuk membuat strategi konservasi tanah yang efisien dan sesuai dengan keadaan lokal.

3. Untuk memvalidasi model erosi tanah seperti RUSLE atau MUSLE, skala mikro sering digunakan. Data yang dikumpulkan pada skala mikro dapat memberikan informasi yang akurat untuk memvalidasi atau mengkalibrasi model, yang menghasilkan prediksi yang lebih baik pada skala yang lebih besar

Selain kelebihan, terdapat juga beberapa kelemahan evaluasi erosi pada skala mikro, antara lain :

1. Karena keterbatasan ruang lingkup evaluasi skala mikro, hasilnya seringkali sulit untuk digeneralisasi ke skala yang lebih besar. Faktor-faktor lokal yang kompleks mungkin tidak berlaku di wilayah yang lebih luas, sehingga sulit untuk menggunakan hasil evaluasi mikro untuk perencanaan skala regional atau nasional.
2. Pengukuran erosi pada skala mikro membutuhkan banyak sumber daya, termasuk waktu, biaya, dan tenaga ahli. Untuk mendapatkan hasil yang akurat, pengumpulan data yang rinci dan pengukuran berulang sering kali diperlukan. Ini dapat menjadi hambatan bagi penelitian atau proyek konservasi yang lebih besar.
3. Cuaca ekstrem atau perubahan musiman dapat sangat memengaruhi erosi pada skala mikro, menghasilkan variabilitas data yang tinggi yang memerlukan pengamatan dan pengukuran yang sering untuk mendapatkan hasil yang representatif.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyani, I. *et al.* (2024) 'Analysis of rainfall erosivity factor (R) on prediction of erosion yield using USLE and RUSLE Model's; A case study in Mayang Watershed, Jember Regency, Indonesia', *Sains Tanah*, 21(1), pp. 64–73. Available at: <https://doi.org/10.20961/stjssa.v21i1.63641>.
- Arsyad, S. (2010) 'Konservasi tanah dan Air. Edisi kedua', *Institute Pertanian Bogor, Bogor* [Preprint].
- Bagarello, V. *et al.* (2018) 'Testing simple scaling in soil erosion processes at plot scale', *Catena*, 167(April), pp. 171–180. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.035>.
- Benaud, P. *et al.* (2020) 'National-scale geodata describe widespread accelerated soil erosion', *Geoderma*, 371(September 2017), p. 114378. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114378>.
- Bezak, N. *et al.* (2024) 'Towards multi-model soil erosion modelling: An evaluation of the erosion potential method (EPM) for global soil erosion assessments', *Catena*, 234(July 2023). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107596>.
- Borrelli, P. *et al.* (2017) 'An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion', *Nature Communications*, 8(1). Available at: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>.
- Flanagan, D.C., Gilley, J.E. and Franti, T.G. (2007) 'Water Erosion Prediction Project (WEPP)', *Transactions of the ASABE*, 50(5), pp. 1603–1612.

- Hardjowigeno, S. and Widiatmaka (2007) *Evaluasi Kesesuaian Lahan dan Perencanaan Tataguna Lahan*. Cetakan Pe. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Kumar, N. and Singh, S.K. (2021) *Soil erosion assessment using earth observation data in a trans-boundary river basin, Natural Hazards*. Springer Netherlands. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04571-6>.
- Martinez, G. *et al.* (2017) 'Scale effects on runoff and soil erosion in rangelands: Observations and estimations with predictors of different availability', *Catena*, 151, pp. 161–173. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.011>.
- Morgan, R.P.. (2005) *Soil Erosion & Conservation*. Third Edit. Blckwell Publishing Ltd.
- Morgan, R.P.C.M. and Duzant, J.H. (2007) 'Modified MMF (Morgan–Morgan–Finney) model for evaluating effects of crops and vegetation cover on soil erosion', *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(June), pp. 90–106. Available at: <https://doi.org/10.1002/esp.1530> R.
- Mounirou, L.A. *et al.* (2022) 'Soil Erosion across Scales: Assessing Its Sources of Variation in Sahelian Landscapes under Semi-Arid Climate', *Land*, 11(12). Available at: <https://doi.org/10.3390/land11122302>.
- Panagos, P. *et al.* (2015) 'Rainfall erosivity in Europe', *Science of the Total Environment*, 511, pp. 801–814. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.008>.
- Pimentel, D. and Kounang, N. (1998) 'Ecology of soil erosion in ecosystems', *Ecosystems*, 1(5), pp. 416–426. Available at: <https://doi.org/10.1007/s100219900035>.

- Poesen, J. *et al.* (2003) 'Gully erosion and environmental change: Importance and research needs', *Catena*, 50(2-4), pp. 91-133. Available at: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(02\)00143-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(02)00143-1).
- Puay, Y. *et al.* (2019) 'Prediction Soil Erosion Using GIS-USLE Under Different Land Uses In West Timor, Indonesia', in *Proceedings of the 1st International Conference on Engineering, Science, and Commerce, ICESC 2019, 18-19 October 2019, Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur, Indonesia*.
- Renard, K.G. *et al.* (1997) *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*.
- Sarminah, S., Kristianto, D. and Syafrudin, M. (2017) 'Analisis Tingkat Bahaya Erosi pada Kawasan Reklamasi Tambang Batubara PT Jembayan Muarabara Kalimantan Timur', *Ulin: Jurnal Hutan Tropis*, 1 No 2, Se, pp. 154-162.
- Wainwright, J., Parsons, A.J. and Abrahams, A.D. (2000) 'Plot-scale studies of vegetation , overland flow and erosion interactions : case studies from Arizona and New Mexico Abstract', *HYDROLOGICAL PROCESSES*, 2943(October 1999), pp. 2921-2943.
- Wajarwati, L.P. and Kusumandari, A. (2016) *Pendugaan Erosi dengan Metode Tongkat pada Areal Bekas Pemanenan (Studi Kasus di IUPHHK-HA PT. Suka Jaya Makmur, Kalimantan Barat)*. Gadjah Mada University. Available at: <https://etd.repository.ugm.ac.id/penelitian/detail/94419>.
- Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978) *Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning*. Department of Agriculture, Science and Education Administration.

Yunita, F.T. *et al.* (2024) 'Comparison of Various Rainfall Erosivity Formulas in the Application of USLE for Erosion Cases in Indonesia', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1343(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1343/1/012025>.

BAB 9

METODE PENGENDALIAN EROSI TANAH

Oleh Yunus Arifien

9.1 Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris, dan mayoritas penduduknya bermatapencaharian dari pertanian. Jelas terlihat bahwa warga negara Indonesia hidup dan bekerja di sektor ini. Pembangunan pertanian bertujuan untuk meningkatkan produksi pertanian untuk memenuhi kebutuhan pangan dan industri dalam negeri, meningkatkan pendapatan petani, meningkatkan kesempatan kerja, dan meningkatkan pemerataan usaha. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan pangan seiring dengan berkembangnya pertanian, sektor pertanian akan terus menjadi sektor penting bagi pertumbuhan perekonomian nasional.

Pertumbuhan penduduk yang terus meningkat dan berdampak langsung pada peningkatan kebutuhan pangan. Populasi Indonesia telah meningkat dari 211 juta menjadi 267 juta selama dua dekade terakhir, memberikan tekanan lebih lanjut pada sektor pangan dan memaksa masyarakat untuk memanfaatkan lereng curam untuk lahan pertanian. Pertanian pada lereng yang curam, harus berhati-hati untuk menghindari erosi tanah. Erosi tahunan di Pulau Jawa saat ini berkisar antara 6 hingga 12 ton per hektar per tahun. Sebagai perbandingan, erosi di Amerika hanya 0,7 ton per hektar per tahun.

Pertambahan jumlah penduduk juga akan mendorong tumbuhnya sektor-sektor lain untuk memenuhi kebutuhan swasembada pangan penduduk yang semakin bertambah. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk dari waktu ke waktu, kebutuhan akan pangan pun terus meningkat, hal ini berdampak pada semakin meningkatnya kebutuhan lahan pertanian untuk pangan, baik lahan kering maupun lahan basah atau sawah. Di satu sisi, pertumbuhan penduduk meningkatkan konversi lahan menjadi penggunaan non-pertanian, yaitu dalam bentuk lahan pemukiman, komersial, atau jasa.

Untuk memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat, pemerintah melaksanakan program perluasan produksi secara luas di seluruh daerah melalui Program lahan produksi baru. Hal ini disebabkan karena lahan yang ada sudah tidak produktif lagi atau lahan kering, banyak jaringan irigasi yang tidak berfungsi dengan baik, kesuburan tanah semakin menurun, ketersediaan air dan sumber air semakin berkurang. Hal ini juga disebabkan karena jumlah penduduk semakin berkurang dan lahan semakin berkurang. Penggunaan lahan harus sesuai dengan kapasitasnya agar penggunaan lahan ideal dan dapat menjaga kualitas ekologi. Kemampuan lahan dalam mendukung penggunaan lahan bergantung pada faktor-faktor unik yang terdapat pada lahan tersebut, antara lain hidrologi, kemiringan lereng, batuan/tanah, dan sebagainya.

Erosi tanah terjadi ketika lapisan permukaan tanah yang subur terkikis oleh faktor-faktor seperti air, angin, dan aktivitas manusia. Proses ini dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah, sehingga produktivitas pertanian berkurang. Selain itu, erosi tanah juga dapat menyebabkan banjir, sedimentasi sungai, dan kerusakan ekosistem lokal. Dampak negatif dari erosi tanah dapat sangat dirasakan oleh masyarakat pedesaan yang bergantung pada pertanian sebagai mata pencaharian utama.

Kehilangan lahan yang bermanfaat ini menyebabkan kerugian finansial yang sangat besar. Di Pulau Jawa, disintegrasi lahan menyebabkan kerugian sebesar 2% dari total PDB pedesaan, baik kerugian yang dialami peternak secara langsung maupun kerugian yang dialami kelompok lain di hilir. Studi lain menunjukkan bahwa dampak disintegrasi lahan di Sleman setara dengan 17% dari keseluruhan keuntungan yang diperoleh peternak pada umumnya per hektar lahan pertanian. Pengolahan yang tidak tepat, misalnya membuat alur pada lahan miring, dapat memperparah masalah ini. Mencegah disintegrasi tanah juga melindungi lahan pedesaan dan memberikan banyak manfaat berbeda, misalnya, (1) Menjaga kualitas air dengan mengurangi sedimentasi sungai dan waduk, (2) Mengurangi risiko banjir dengan mengurangi aliran balik air dan meningkatkan konsumsi air, (3) Melindungi bangunan seperti bendungan, jalan, dan perancah dari kerusakan, (4) Meningkatkan ketahanan pangan dengan melestarikan kekayaan tanah dan meningkatkan efisiensi pertanian, dan (5) Mendukung keanekaragaman hayati dengan menyediakan lingkungan alami bagi tumbuhan dan hewan.

9.2 Pencegahan Erosi Tanah dan Air

9.2.1 Konservasi Tanah Metode Vegetatif

Konservasi tanah vegetatif merupakan cara konservasi dengan memanfaatkan tanaman sehingga tanah bisa terhindar dari air hujan dan aliran permukaan. Ada beberapa cara yang dilakukan. Konservasi tanah dan air merupakan tindakan penting untuk menjaga keseimbangan ekosistem dan keberlanjutan sumber daya alam. Pendekatan biologi dalam konservasi tanah dan air menggunakan organisme hidup, baik tumbuhan maupun hewan, untuk memperbaiki struktur tanah, mengurangi erosi, dan meningkatkan infiltrasi air. Berikut adalah beberapa metode konservasi tanah dan air secara vegetatif:

1. Penanaman Vegetasi Penutup

Vegetasi penutup adalah tanaman yang ditanam untuk menutupi permukaan tanah dan melindunginya dari erosi. Akar tanaman membantu menahan partikel tanah dan mencegah pengikisan oleh air atau angin. Selain itu, vegetasi penutup juga meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Contoh vegetasi penutup termasuk rumput, legum, dan tanaman penutup lainnya yang memiliki sistem akar yang kuat antara lain pohon rendah (*Calopogonium mucunoides*), pohon sedang (*Lantana camara*), tanaman pelindung (pohon hujan), dan tanaman yang tidak disukai (*Panicum repens*).

2. Agroforestri

Agroforestri adalah sistem penggunaan lahan yang menggabungkan pertanian dengan penanaman pohon atau tanaman berkayu. Pohon dan semak dalam sistem agroforestri berfungsi untuk mengurangi erosi, meningkatkan kesuburan tanah, dan meningkatkan kelembaban tanah. Sistem ini juga meningkatkan keanekaragaman hayati dan memberikan manfaat tambahan seperti hasil kayu dan buah.

3. Penggunaan Tanaman Penahan (*Buffer Strips*)

Tanaman penahan, atau *buffer strips*, adalah sabuk tanaman yang ditanam di sepanjang tepi lahan pertanian, saluran air, atau daerah rawan erosi. Tanaman ini berfungsi sebagai penghalang fisik yang menahan partikel tanah dan mengurangi kecepatan aliran air permukaan. Buffer strips juga membantu menyaring polutan dan meningkatkan kualitas air yang masuk ke saluran air.

4. Rotasi Tanaman

Rotasi tanaman adalah praktik mengganti jenis tanaman yang ditanam di lahan yang sama secara berkala. Teknik ini membantu memecah siklus hama dan penyakit, meningkatkan kesuburan tanah, dan mengurangi erosi. Tanaman dengan akar yang berbeda dapat membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan infiltrasi air.

5. Penanaman pada Terasering

Terasering adalah teknik pembuatan lahan bertingkat di daerah berlereng untuk mengurangi kecepatan aliran air permukaan dan mengurangi erosi. Pada setiap teras, tanaman ditanam untuk menstabilkan tanah dan meningkatkan penyerapan air.

6. Penggunaan Mikroorganisme

Mikroorganisme seperti bakteri, fungi, dan mikroba tanah lainnya dapat digunakan untuk meningkatkan kesuburan tanah dan struktur tanah. Mikroorganisme ini membantu dalam proses dekomposisi bahan organik, sehingga meningkatkan kandungan humus dalam tanah. Humus yang kaya akan nutrisi meningkatkan kemampuan tanah untuk menahan air dan mencegah erosi.

7. Penanaman Tanaman Pangan dan Non-pangan

Tanaman pangan dan non-pangan dapat dilakukan dengan cara mencampur tanaman pokok dengan tanaman lainnya yang bukan pangan. Contoh konservasi tanah dengan metode ini yakni menanam cabe dan padi sekaligus.

8. Pengendalian Gulma Secara Biologis

Pengendalian gulma secara biologis menggunakan musuh alami, seperti serangga pemangsa atau mikroorganisme patogen, untuk mengurangi populasi gulma. Pendekatan ini mengurangi kebutuhan akan herbisida kimia yang dapat mencemari tanah dan air. Dengan menjaga populasi gulma dalam batas yang terkendali, struktur tanah dan infiltrasi air tetap terjaga.

9.2.2 Metode Mekanik

Pencegahan erosi tanah secara mekanik melibatkan penggunaan struktur dan teknik yang dirancang untuk mengendalikan aliran air dan menjaga tanah tetap di tempatnya. Berikut beberapa metode yang umum digunakan:

1. Terracing (Pembuatan Terasering):

Pembuatan terasering pada lahan miring untuk mengurangi kecepatan aliran air dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah. Terasering juga membantu mencegah tanah tererosi dengan membuat level-level yang datar. Konservasi tanah dengan terasering merupakan salah satu metode yang efektif untuk mengelola lahan miring dan mencegah erosi tanah. Implementasi yang tepat dan pemeliharaan yang berkelanjutan sangat penting untuk memastikan keberhasilan dan manfaat jangka panjang dari teknik ini.

Manfaat pembuatan terasering antara lain (1) mengurangi Erosi Tanah dimana terasering memperlambat aliran air permukaan, yang mengurangi kemampuan air untuk mengikis tanah. Air yang mengalir secara perlahan lebih sedikit membawa partikel tanah bersamanya, (2) meningkatkan infiltrasi air yaitu teras datar memungkinkan air hujan untuk meresap ke dalam tanah daripada mengalir begitu saja. Hal ini membantu meningkatkan cadangan air tanah dan menjaga kelembaban tanah, (3) meningkatkan Kesuburan Tanah dimana terasering membantu mencegah pencucian nutrisi dari tanah. Nutrisi yang terjebak di teras dapat dimanfaatkan oleh tanaman, meningkatkan kesuburan tanah, dan (4) memungkinkan pertanian di Daerah Berbukit dimana terasering menciptakan permukaan datar yang lebih mudah diolah dan ditanami, memungkinkan pertanian di daerah berbukit atau pegunungan yang sebelumnya tidak cocok untuk bercocok tanam.

Jenis-jenis Terasering antara lain

- 1) Teras Datar: Teras datar adalah platform datar yang dibuat pada lereng. Teras ini paling umum digunakan pada lereng yang relatif curam.
- 2) Teras Miring: Teras miring sedikit menurun ke arah lereng untuk mengarahkan air ke saluran drainase. Teras ini sering digunakan pada lereng yang lebih landai.

- 3) Teras Batu: Teras batu menggunakan batu sebagai penguat untuk menjaga stabilitas teras. Teras ini cocok untuk daerah dengan curah hujan tinggi atau tanah yang mudah tererosi.

Pemeliharaan Terasering dapat dilakukan dengan jalan (1) Memeriksa teras secara rutin untuk mendeteksi kerusakan atau erosi yang mungkin terjadi, (2) Melakukan perbaikan segera jika ada kerusakan pada teras, seperti retakan atau longsor, dan (3) Menjaga vegetasi penutup tanah dalam kondisi baik untuk memastikan mereka terus memberikan perlindungan terhadap erosi.

2. Contour Plowing (Pengolahan Tanah Sejajar Kontur)

Pengolahan tanah dengan mengikuti kontur atau garis tinggi tanah untuk memperlambat aliran air dan mengurangi erosi. Teknik ini efektif dalam mencegah air mengalir langsung menuruni lereng dan membawa partikel tanah bersamanya.

Konservasi dengan Pengolahan Tanah Sejajar Kontur (*Contour Plowing*) adalah teknik yang digunakan untuk mengelola lahan dengan cara mengolah tanah sejajar dengan garis kontur alamiah dari suatu lahan. Metode ini bertujuan untuk mengurangi erosi tanah dan meningkatkan retensi air di dalam tanah. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang konservasi tanah dengan pengolahan tanah sejajar kontur:

Manfaat Pengolahan Tanah Sejajar Kontur antara lain (1) Mengurangi Erosi Tanah dengan mengolah tanah sejajar dengan kontur, aliran air permukaan diperlambat, sehingga mengurangi kemampuan air untuk membawa partikel-partikel tanah, (2) meningkatkan Infiltrasi Air dimana Aliran air yang lebih lambat memberi waktu lebih banyak bagi air untuk meresap ke dalam tanah, yang membantu meningkatkan kadar air tanah dan mengurangi limpasan permukaan, (3) mengurangi kehilangan nutrisi dimana erosi yang berkurang juga berarti bahwa lebih sedikit nutrisi yang

tercuci dari tanah, sehingga tanah tetap subur dan produktif, dan (4) menstabilkan tanah yaitu dengan mengolah tanah sejajar kontur, struktur tanah menjadi lebih stabil dan resiko longsor dapat diminimalkan. Menanam tanaman sesuai dengan garis kontur yang telah diolah. Penanaman sejajar kontur membantu menjaga stabilitas tanah dan meningkatkan retensi air.

3. Check Dams (Bendung Cekdam):

Pembangunan bendungan kecil atau penahan di saluran air untuk mengurangi kecepatan aliran air dan menangkap sedimen. Bendung cekdam ini biasanya terbuat dari batu, beton, atau bahan lainnya yang mampu menahan air. Konservasi dengan bendungan cekdam adalah teknik yang digunakan untuk mengendalikan aliran air dan mengurangi erosi tanah dengan membangun bendungan kecil atau struktur penahan air di saluran air. Bendungan cekdam berfungsi untuk memperlambat aliran air, meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, dan menangkap sedimen yang terbawa oleh air. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang konservasi tanah dan air dengan menggunakan bendungan cekdam.

Manfaat Bendungan Cekdam antara lain adalah (1) mengurangi Erosi Tanah dimana bendungan cekdam memperlambat aliran air, sehingga mengurangi kemampuan air untuk mengikis dan membawa partikel tanah, (2) menangkap sedimen dimana bendungan cekdam membantu menangkap sedimen yang terbawa oleh aliran air, sehingga mencegah sedimentasi di hilir sungai dan menjaga kualitas air, (3) meningkatkan Infiltrasi Air dengan memperlambat aliran air, bendungan cekdam memungkinkan lebih banyak air untuk meresap ke dalam tanah, meningkatkan cadangan air tanah, (4) mengurangi risiko banjir dimana bendungan cekdam membantu mengatur aliran air selama periode hujan deras, mengurangi risiko banjir di daerah hilir, dan (5) meningkatkan Produktivitas Pertanian yaitu dengan mengurangi erosi dan meningkatkan kelembaban tanah,

bendungan cekdam dapat meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas pertanian.

Penggunaan bendungan cekdam sebagai bagian dari strategi konservasi tanah dan air dapat memberikan manfaat yang signifikan untuk mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan dan meningkatkan produktivitas lahan. Implementasi yang tepat dan pemeliharaan yang berkelanjutan sangat penting untuk memastikan efektivitas dan keberhasilan jangka panjang dari teknik ini.

4. Gabions (Gabion):

Menggunakan kotak-kotak kawat yang diisi dengan batu atau material lainnya untuk menstabilkan tepi sungai, lereng, atau saluran air. Gabion membantu menahan tanah dan mengurangi erosi dengan memberikan struktur yang kokoh. Konservasi tanah dengan menggunakan gabion adalah teknik yang efektif untuk mengendalikan erosi dan stabilisasi lereng. Gabion adalah struktur yang terbuat dari kawat baja yang diisi dengan batu atau material lainnya, yang kemudian ditempatkan di lokasi yang memerlukan stabilisasi.

Manfaat Penggunaan Gabion antara lain adalah (1) Mengurangi Erosi Tanah dimana Gabion memperlambat aliran air dan menahan partikel tanah, sehingga mengurangi erosi, (2) Menstabilkan Lereng dimana Gabion membantu menstabilkan lereng yang curam dengan memberikan dukungan struktural yang kuat, (3) Meningkatkan Infiltrasi Air dimana Struktur gabion memungkinkan air mengalir melalui batu-batu yang ada di dalamnya, meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, (4) Mengendalikan Sedimentasi dimana Gabion dapat menangkap sedimen yang terbawa oleh air, sehingga mengurangi sedimentasi di hilir, dan (5) Fleksibilitas dan Daya Tahan dimana Gabion adalah struktur fleksibel yang dapat beradaptasi dengan pergerakan tanah, serta tahan terhadap cuaca ekstrem dan tekanan hidraulik.

Jenis-Jenis Gabion adalah (1). Gabion Box (Kotak Gabion): Kotak kawat yang diisi dengan batu, digunakan untuk membangun tembok penahan atau penghalang, (2)

Gabion Mattress (Kasur Gabion): Struktur datar yang lebih tipis dari gabion box, digunakan untuk perlindungan dasar sungai atau saluran air, (3) Gabion Sack (Kantung Gabion): Bentuk kantung yang diisi dengan batu, digunakan untuk aplikasi sementara atau darurat.

Penggunaan gabion sebagai bagian dari strategi konservasi tanah dapat memberikan manfaat yang signifikan untuk mengelola sumber daya alam secara berkelanjutan dan meningkatkan stabilitas tanah serta produktivitas lahan. Implementasi yang tepat dan pemeliharaan yang berkelanjutan sangat penting untuk memastikan efektivitas dan keberhasilan jangka panjang dari teknik ini.

5. Retaining Walls (Tembok Penahan)

Membangun tembok penahan dari batu, beton, atau bahan lainnya untuk menahan tanah pada lereng curam dan mencegah longsor. Tembok penahan memberikan dukungan struktural yang kuat untuk mencegah erosi. Konservasi tanah dengan menggunakan tembok penahan (retaining walls) adalah metode yang digunakan untuk mencegah erosi dan longsor tanah pada lereng yang curam. Tembok penahan dibuat dari berbagai bahan seperti batu, beton, atau kayu, dan berfungsi untuk menahan massa tanah yang berada di belakangnya. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang konservasi tanah dengan tembok penahan:

Manfaat Tembok Penahan antara lain adalah: (1) Mencegah Erosi Tanah dimana tembok penahan membantu menstabilkan lereng dan mencegah tanah tererosi oleh air hujan atau aliran permukaan, (2) Menahan Longsor dimana Tembok penahan memberikan dukungan struktural yang kuat untuk tanah, mencegah longsor yang dapat merusak properti dan infrastruktur, (3) Mengelola Air dimana Tembok penahan dapat dirancang dengan sistem drainase untuk mengelola air permukaan dan air tanah, mengurangi tekanan hidrostatik di belakang tembok, dan (4) Memanfaatkan Lahan yaitu Dengan menstabilkan lereng curam, tembok penahan memungkinkan pemanfaatan lahan

yang sebelumnya tidak bisa digunakan, misalnya untuk pertanian, pemukiman, atau taman.

Jenis-Jenis Tembok Penahan antara lain adalah (1) Gravity Wall: yaitu dengan mengandalkan berat material (biasanya batu atau beton) untuk menahan tekanan tanah. Gravity wall biasanya lebar di bagian bawah untuk memberikan stabilitas, (2) Cantilever Wall yang terbuat dari beton bertulang yang memiliki bentuk seperti huruf "L" atau "T". Bagian bawah tembok ini terkubur di tanah untuk memberikan tumpuan dan stabilitas, (3) sheet Pile Wall: yang dibuat dari lembaran baja, beton, atau kayu yang dihamparkan secara vertikal ke dalam tanah. Cocok untuk area dengan ruang terbatas atau di dekat air, dan (4) Anchored Wall: dengan Menggunakan jangkar yang ditanam jauh ke dalam tanah di belakang tembok untuk memberikan dukungan tambahan. Biasanya digunakan untuk tembok yang tinggi.

Penggunaan tembok penahan sebagai bagian dari strategi konservasi tanah dapat memberikan manfaat yang signifikan untuk mengelola erosi dan stabilisasi lereng. Implementasi yang tepat dan pemeliharaan yang berkelanjutan sangat penting untuk memastikan efektivitas dan keberhasilan jangka panjang dari teknik ini.

6. Strip Cropping (Penanaman Bergaris)

Menanam tanaman dalam strip-strip sejajar kontur dengan tanaman penutup tanah di antara strip-strip tersebut. Teknik ini membantu memperlambat aliran air dan meningkatkan infiltrasi, serta mengurangi erosi tanah. Konservasi tanah dengan penanaman bergaris, atau sering disebut strip cropping, adalah teknik pertanian yang digunakan untuk mengurangi erosi tanah dan meningkatkan kesuburan tanah. Teknik ini melibatkan penanaman tanaman dalam strip-strip sejajar dengan garis kontur lahan, biasanya dengan tanaman penutup tanah di antara strip

tanaman utama. Berikut adalah penjelasan lebih rinci tentang konservasi tanah dengan penanaman bergaris:

Manfaat Penanaman Bergaris antara lain (1) Mengurangi Erosi Tanah dimana penanaman bergaris memperlambat aliran air permukaan dan mengurangi kekuatan air untuk mengikis tanah, (2) Meningkatkan Infiltrasi Air dimana Strip tanaman penutup tanah membantu meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, mengurangi limpasan permukaan, (3) Menjaga Kesuburan Tanah dimana Tanaman penutup tanah membantu menahan tanah dan mencegah kehilangan nutrisi yang terbawa oleh erosi, (4) meningkatkan Keanekaragaman Hayati dimana penanaman bergaris dapat meningkatkan keanekaragaman hayati dengan menyediakan habitat bagi berbagai jenis tanaman dan hewan, (5) mengelola gulma dimana tanaman penutup tanah dapat bersaing dengan gulma, mengurangi kebutuhan akan herbisida.

Jenis-Jenis Penanaman Bergaris antara lain adalah (1) Penanaman Bergaris dengan Tanaman Penutup yaitu Menanam tanaman penutup tanah seperti rumput atau legum di antara strip tanaman utama untuk menahan tanah dan meningkatkan kesuburan, (2) Penanaman Bergaris dengan Tanaman yang Berbeda dengan menanam strip tanaman utama yang berbeda, misalnya jagung dan kedelai, untuk meningkatkan rotasi tanaman dan mengelola hama dan penyakit, dan (3) **Penanaman Bergaris dengan Tanaman Tahunan dan Perennial yaitu dengan mengombinasikan tanaman tahunan dan perennial dalam strip untuk meningkatkan struktur tanah dan kesuburan jangka panjang

8. Pemberian Mulsa

Metode konservasi tanah dengan mulsa yaitu dengan pemberian bahan organik dari sisa tanaman yang diletakkan di atas permukaan tanah sebagai penutup. Fungsi mulsa antara lain adalah untuk mengurangi erosi, menghambat

aliran permukaan tanah, mengatur suhu dan kelembapan tanah dan mematikan tanaman pengganggu. Konservasi tanah dengan mulsa adalah teknik yang sangat efektif untuk mengurangi erosi, mempertahankan kelembapan tanah, meningkatkan kesuburan tanah, dan mengendalikan gulma.

Mulsa dapat berbentuk organik atau anorganik. Mulsa Organik terbuat dari bahan alami seperti jerami, daun kering, rumput potong, serbuk gergaji, kompos, dan kulit kayu. Mulsa organik dapat memperbaiki struktur tanah saat terurai. Sedangkan mulsa anorganik terbuat dari bahan sintesis seperti plastik hitam, kain geotekstil, atau kerikil. Mulsa anorganik tahan lama dan efektif dalam mengendalikan gulma.

Mulsa organik disebarakan dengan ketebalan sekitar 5-10 cm. Ketebalan ini cukup untuk mengendalikan gulma, mempertahankan kelembapan, dan mencegah erosi. Mulsa dipastikan tidak menempel langsung pada batang tanaman untuk mencegah pembusukan. Berikan jarak sekitar 5-10 cm dari batang tanaman. Peambahkan mulsa jika lapisan mulsa mulai menipis akibat dekomposisi atau kondisi cuaca. Mulsa organik yang sudah terurai secara berkala untuk memastikan efektivitasnya dalam menjaga kelembapan dan mengendalikan gulma.

Manfaat Mulsa dalam Konservasi Tanah antara lain (1) Mengurangi Erosi dimana mulsa menutupi tanah dan melindunginya dari dampak langsung hujan, angin, dan aliran air permukaan yang dapat menyebabkan erosi, (2) menjaga kelembapan tanah dimana mulsa membantu mengurangi penguapan air dari permukaan tanah, sehingga menjaga kelembapan tanah lebih lama, (3) meningkatkan Kesuburan Tanah dimana mulsa organik terurai dan menambah bahan organik ke dalam tanah, meningkatkan struktur dan kesuburan tanah, (4) mengendalikan Gulma dimana mulsa menghalangi sinar matahari yang diperlukan oleh gulma untuk tumbuh, sehingga membantu mengurangi pertumbuhan gulma, dan (5) mengatur Suhu Tanah dimana Mulsa membantu menjaga suhu tanah tetap stabil,

melindungi akar tanaman dari suhu ekstrem. Dengan menerapkan mulsa secara efektif, Anda dapat menjaga kesehatan dan produktivitas tanah sambil mengurangi dampak negatif erosi dan penguapan air.

9. Saluran Pembuangan (darinase)

Konservasi tanah dengan saluran pembuangan (drainase) merupakan metode yang digunakan untuk mengelola aliran air permukaan, mencegah genangan, dan mengurangi erosi tanah. Berikut adalah langkah-langkah untuk membuat dan memanfaatkan saluran pembuangan untuk konservasi tanah:

Jenis Saluran Pembuangan dapat terbuka atau tertutup. Saluran Terbuka dimana saluran ini adalah parit atau kanal yang terbuka, biasanya digunakan untuk mengalirkan air permukaan secara langsung ke area yang lebih rendah atau ke kolam penampungan. Sedangkan Saluran Tertutup dengan menggunakan pipa yang diletakkan di bawah tanah untuk mengalirkan air. Pipa perforasi sering digunakan untuk memungkinkan infiltrasi air.

10. Kolam penampung (retention pond)

Konservasi tanah dan air dengan kolam penampung (retention pond) merupakan metode yang efektif untuk mengelola air hujan, mengurangi erosi, meningkatkan ketersediaan air selama musim kering, dan menjaga keseimbangan ekosistem.

Manfaat Kolam Penampung antara lain (1) Pengendalian Banjir dimana Kolam penampung membantu mengendalikan aliran air hujan dan mengurangi risiko banjir dengan menampung air sementara, (2) penyimpanan Air dimana kolam penampung menyimpan air yang dapat digunakan selama musim kemarau untuk irigasi atau

kebutuhan lainnya, (3) pengurangan erosi dengan mengelola aliran air, kolam penampung membantu mengurangi erosi tanah di area sekitarnya dan (4) peningkatan Kualitas Air dimana Kolam penampung dapat meningkatkan kualitas air dengan menyaring endapan dan partikel lumpur sebelum air mengalir keluar.

11. Pembajakan Kontur

Konservasi tanah dengan pembajakan kontur adalah teknik yang digunakan untuk mengurangi erosi tanah dan meningkatkan infiltrasi air dengan cara membajak tanah sejajar dengan kontur atau garis ketinggian lahan. Pola pembajakan kontur berdasarkan topografi lahan. Garis kontur harus sejajar dengan kontur lereng untuk memaksimalkan efektivitas. Jarak antara garis kontur berdasarkan kemiringan lereng dan jenis tanah. Lereng yang lebih curam memerlukan jarak yang lebih dekat antara garis kontur.

Penggunaan tanaman penutup tanah atau mulsa untuk melindungi tanah dari erosi dan mempertahankan kelembaban. Tanaman ditanam sejajar dengan garis kontur. Tanaman yang memiliki sistem akar kuat dapat membantu menstabilkan tanah dan mengurangi erosi.

Pembajakan kontur memperlambat aliran air permukaan, sehingga mengurangi erosi tanah, meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, membantu mengisi kembali air tanah dan mengurangi limpasan, mengurangi erosi, lapisan tanah atas yang subur tetap terjaga sehingga meningkatkan produktivitas lahan dan dapat membantu mengendalikan gulma dengan merusak sistem akar gulma yang ada di permukaan tanah. Dengan menerapkan teknik pembajakan kontur, petani dapat mengelola lahan mereka dengan lebih baik, mengurangi risiko erosi, meningkatkan retensi air, dan menjaga kesuburan tanah untuk jangka panjang.

9.2.3 Metode Kimia

Konservasi tanah dan air merupakan langkah-langkah yang diambil untuk menjaga kualitas dan kuantitas tanah serta air agar tetap berfungsi optimal dalam mendukung kehidupan. Salah satu metode konservasi yang penting adalah dengan menggunakan teknik-teknik kimia. Teknik ini mencakup penggunaan bahan kimia untuk mengurangi erosi tanah, meningkatkan kesuburan tanah, dan menjaga kualitas air.

1. Penggunaan Pupuk Kimia

Pupuk kimia merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kesuburan tanah. Pupuk ini mengandung unsur hara seperti nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) yang diperlukan tanaman untuk pertumbuhan. Namun, penggunaan pupuk kimia harus dilakukan secara bijaksana. Penggunaan berlebihan dapat menyebabkan pencemaran air melalui aliran permukaan yang mengandung nutrisi berlebih, yang dapat menyebabkan eutrofikasi di badan air seperti danau dan sungai.

2. Penggunaan Penstabil Tanah

Penstabil tanah adalah bahan kimia yang digunakan untuk meningkatkan kekuatan dan stabilitas tanah, sehingga mengurangi erosi. Contoh penstabil tanah termasuk kalsium karbonat, kalsium klorida, dan berbagai polimer sintetis. Bahan ini membantu mengikat partikel tanah bersama-sama, sehingga tanah menjadi lebih resisten terhadap pengikisan oleh air dan angin.

3. Aplikasi Agen Pembasah (Wetting Agents)

Agen pembasah adalah bahan kimia yang meningkatkan penetrasi air ke dalam tanah. Mereka mengurangi tegangan permukaan air, memungkinkan air menyebar lebih merata dan menyerap lebih efisien ke dalam tanah. Ini sangat berguna dalam mengurangi limpasan permukaan dan meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah, yang pada akhirnya membantu dalam konservasi air.

4. Penggunaan Zat Pengikat (Soil Binders)

Zat pengikat tanah adalah bahan kimia yang digunakan untuk menstabilkan partikel-partikel tanah. Zat ini sering digunakan dalam proyek-proyek konservasi tanah di daerah yang rawan erosi. Polimer organik dan anorganik, seperti poliakrilamida, dapat digunakan sebagai pengikat tanah yang efektif. Zat pengikat ini membantu menjaga struktur tanah, mengurangi erosi, dan meningkatkan retensi air.

5. Pengendalian pH Tanah

pH tanah yang seimbang adalah kunci untuk menjaga kesuburan tanah dan kualitas air. Bahan kimia seperti kapur (untuk menaikkan pH) atau belerang (untuk menurunkan pH) sering digunakan untuk mengkondisikan pH tanah agar sesuai dengan kebutuhan tanaman. Dengan menjaga pH tanah dalam kisaran optimal, penyerapan nutrisi oleh tanaman menjadi lebih efisien, mengurangi kebutuhan pupuk tambahan dan mencegah pencemaran air.

6. Penggunaan Herbisida dan Pestisida yang Tepat

Herbisida dan pestisida kimia dapat membantu dalam mengendalikan gulma dan hama yang merusak tanaman. Namun, penggunaannya harus dikelola dengan baik untuk mencegah kerusakan lingkungan. Penggunaan yang tepat sesuai dengan dosis yang dianjurkan dapat membantu meminimalkan dampak negatif terhadap tanah dan air. Penggunaan bahan kimia ini harus selalu diimbangi dengan praktik-praktik pengelolaan terpadu hama (IPM) untuk mengurangi risiko pencemaran.

9.3 Peran masyarakat dalam Konservasi Tanah

Erosi tanah menjadi permasalahan serius di desa-desa. Penduduk desa setempat, masyarakat memegang peranan vital dalam upaya penanganan erosi agar tidak terus terjadi yaitu dengan jalan :

1. Melestarikan Hutan dan Vegetasi Alam

Pohon dan tanaman berfungsi sebagai penahan air hujan yang efektif. Ketika ditebang habis-habisan, air hujan akan langsung mengikis tanah yang tak lagi terlindungi. Masyarakat perlu aktif menjaga kelestarian hutan dan menanam aneka tanaman yang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat. Dengan begitu, erosi tanah dapat diminimalisir.

2. Melakukan Pengolahan Tanah Berkelanjutan

Teknik pengolahan tanah yang salah memperburuk erosi. Masyarakat perlu menerapkan praktik konservasi seperti terasering, penanaman kontur, dan mulsa organik. Cara-cara ini dapat mengurangi aliran air permukaan, mencegah tanah terkikis, dan mempertahankan kesuburan tanah.

3. Meminimalkan Penggunaan Pestisida dan Herbisida

Pestisida dan herbisida memang ampuh memberantas hama dan gulma, tetapi juga dapat merusak tanah. Penggunaannya yang berlebihan memicu degradasi struktur tanah, membuatnya lebih rentan terhadap erosi. Masyarakat perlu membatasi penggunaan bahan kimia ini dan menggantinya dengan metode pengendalian hama yang lebih ramah lingkungan.

4. Menjaga Saluran Air agar Tetap Bersih

Saluran air yang tersumbat menghambat aliran air dengan baik. Akibatnya, air meluap dan mengikis tanah di sekitarnya. Masyarakat perlu secara rutin membersihkan saluran air, membangun tanggul penahan air, serta memastikan tidak ada sampah yang dibuang ke dalamnya. Langkah-langkah ini akan mencegah erosi tanah akibat air yang meluap.

5. Menanam Tanaman Penutup Tanah

Tanaman penutup tanah yang tumbuh rapat, seperti rumput dan semanggi, melindungi permukaan tanah dari erosi angin dan air hujan. Mereka membentuk lapisan pelindung yang mengikat tanah dan mencegahnya terkikis. Masyarakat dapat menanam tanaman penutup tanah di

lahan-lahan kritis, lereng, dan tepi sungai untuk meminimalisir erosi.

9.3.1 Peran Masyarakat dalam Mencegah Erosi Tanah

Mencegah erosi tanah membutuhkan keterlibatan aktif dari seluruh lapisan masyarakat. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat dilakukan oleh masyarakat desa:

- Menanam pohon dan vegetasi: Pohon dan tanaman membantu menahan tanah dan mengurangi limpasan air, sehingga mencegah erosi.
- Membuat terasering: Terasering adalah teknik bertani yang membagi lahan menjadi teras-teras kecil untuk memperlambat aliran air dan mencegah erosi.
- Menggunakan mulsa: Mulsa berupa bahan organik seperti jerami atau kompos dapat menutupi tanah dan mencegah erosi angin.
- Mengolah tanah secara konservatif: Membajak searah kontur lereng dan menggunakan tanaman penutup tanah dapat mengurangi erosi.
- Mencegah penggundulan hutan: Hutan menyerap air hujan dan mengurangi limpasan permukaan yang memicu erosi.
- Membangun tanggul dan bendung: Struktur ini dapat memperlambat aliran air dan mencegah erosi.

9.3.2 Partisipasi Masyarakat dalam Mengelola Lahan

Masyarakat memegang kunci dalam mengelola lahan secara lestari dan mencegah terjadinya erosi tanah di desa. Pasalnya, mereka memiliki ketergantungan langsung pada sumber daya lahan untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Partisipasi aktif mereka dalam pengelolaan lahan dapat berkontribusi signifikan pada pelestarian tanah dan kesejahteraan masyarakat itu sendiri.

9.3.3 Pentingnya Konservasi Tanah bagi Masyarakat Pedesaan

Tanah merupakan sumber daya vital bagi masyarakat pedesaan. Tanah tidak hanya menjadi tempat tinggal dan mata pencaharian, tetapi juga merupakan sumber air, mineral, dan bahan baku penting lainnya. Erosi tanah dapat merugikan masyarakat dengan berbagai cara, seperti berkurangnya produktivitas lahan pertanian, kerusakan infrastruktur, dan pencemaran sumber air.

9.3.4 Peran Masyarakat dalam Mengatasi Erosi Tanah

Masyarakat dapat memainkan peran aktif dalam mengatasi erosi tanah di desa mereka. Salah satu cara paling efektif adalah dengan menerapkan teknik konservasi tanah, seperti terasering, penanaman tutupan tanah, dan pengelolaan irigasi. Praktik-praktik ini dapat membantu mengurangi aliran air yang berlebihan dan mencegah erosi tanah. Selain itu, masyarakat juga dapat terlibat dalam kegiatan reboisasi dan penghijauan untuk meningkatkan tutupan vegetasi dan melindungi tanah dari angin dan air.

Partisipasi masyarakat dalam pengelolaan lahan juga mencakup penyadaran dan edukasi tentang pentingnya konservasi tanah. Dengan memahami dampak negatif dari erosi tanah, masyarakat dapat termotivasi untuk mengambil tindakan pencegahan dan menerapkan praktik-praktik pertanian yang berkelanjutan.

Singkatnya, peran masyarakat dalam mengatasi erosi tanah di desa sangatlah penting. Melalui partisipasi aktif dalam konservasi tanah, pemberdayaan masyarakat, dan praktik pertanian berkelanjutan, dampak negatif dari erosi tanah dapat dikurangi secara signifikan, sehingga tercipta lingkungan yang sehat dan kesejahteraan masyarakat pedesaan dapat ditingkatkan.

Erosi tanah menjadi ancaman nyata yang mengintai desa-desa di Indonesia. Namun, masyarakat sekitar dapat berperan

aktif untuk mengatasi permasalahan ini. Berbagai tindakan pencegahan dan mitigasi yang dilakukan secara kolektif terbukti efektif dalam meminimalisir erosi tanah dan menjaga kelestarian lingkungan desa.

9.3.5 Tindakan Pencegahan dan Mitigasi

Salah satu cara mencegah erosi tanah adalah dengan menanam pohon secara intensif. Akar pohon yang menghujam tanah berfungsi sebagai penahan yang kuat, mencegah tanah terkikis oleh air dan angin. Berbagai jenis pohon, seperti sukun, trembesi, dan mahoni, terbukti efektif dalam mengikat tanah dan mengurangi erosi.

Teknik terasering juga menjadi solusi ampuh untuk mengatasi erosi tanah. Dengan membangun teras-teras di lereng, masyarakat dapat menghambat aliran air hujan dan mencegah terjadinya longsor. Cara ini juga memudahkan dalam pengelolaan air untuk mengairi lahan pertanian.

Pertanian kontur menjadi salah satu praktik yang dilakukan masyarakat untuk mengendalikan erosi. Metode ini melibatkan penanaman tanaman secara mengikuti kontur tanah, sehingga mencegah aliran air hujan lurus ke bawah. Dengan demikian, erosi tanah dapat diminimalisir dan kesuburan tanah tetap terjaga.

Selain tindakan pencegahan tersebut, masyarakat juga dapat melakukan mitigasi erosi tanah. Salah satunya adalah dengan membuat cekungan penampung air hujan. Cekungan ini berfungsi untuk menampung air hujan yang mengalir deras, mencegah terjadinya erosi dan banjir. Tindakan ini juga dapat dimanfaatkan untuk mengairi lahan pertanian saat musim kemarau.

Menggunakan pupuk organik juga dapat membantu mengurangi erosi tanah. Pupuk organik mampu meningkatkan kesuburan tanah dan menjaga strukturnya, sehingga tanah menjadi lebih kuat dan tidak mudah terkikis. Masyarakat dapat

memanfaatkan sisa tanaman, kotoran hewan, atau kompos sebagai sumber pupuk organik.

Dengan menerapkan berbagai tindakan pencegahan dan mitigasi ini, masyarakat dapat berperan aktif dalam mengatasi erosi tanah di desa. Upaya kolektif ini tidak hanya akan menjaga kelestarian lingkungan, tetapi juga akan meningkatkan produktivitas lahan pertanian dan kesejahteraan masyarakat desa secara keseluruhan.

9.4 Penutup

Erosi tanah merupakan ancaman serius bagi masyarakat desa di Indonesia. Namun, hal ini dapat dicegah dan diatasi dengan keterlibatan aktif masyarakat. Dengan menerapkan langkah-langkah sederhana seperti menanam pohon, membuat terasering, dan mengolah tanah secara konservatif, masyarakat desa dapat melindungi tanah mereka dan memastikan ketahanan pangan untuk generasi mendatang. Menjaga kesuburan tanah adalah investasi untuk masa depan yang lebih berkelanjutan.

Konservasi tanah dan air secara biologi menawarkan pendekatan alami dan berkelanjutan untuk melindungi sumber daya alam kita. Metode-metode ini tidak hanya efektif dalam mengurangi erosi dan meningkatkan infiltrasi air, tetapi juga meningkatkan keanekaragaman hayati dan kesehatan ekosistem secara keseluruhan. Kombinasi teknik biologi dengan praktik konservasi lainnya dapat memberikan hasil yang optimal dan berkelanjutan dalam usaha konservasi tanah dan air.

DAFTAR PUSTAKA

- Alabaster, J.S. dan R. Lloyd. 1982. *Water Quality Criteria for Freshwater Fish, Food and Agricultural Organization of the United Nation*, London, Boston.
- Arifien, Y dan E Rustiadi. 2021. Change Pattern of Land Use of Jabodetabek Area Through Irio and Dimamic System Approach. *Agricultural Science*, 3(1), 12–21
- Arsyad, S. 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. Penerbit IPB. Bogor.
- Carter, L.W. and L.G. Hill. 1979. *Handbook of Variable for Enrivomental Impact Assement*. Arbor Sceince Publishers Inc. Ann Arbor, Michigan.
- Fandeli, Chafid. 1992. *Analisis Mengenai Dampak Lingkungan; Prinsip Dasar dan Peranannya Dalam Pembangunan*. Liberty. Jakarta.
- Fauzi.A. 2004, *Ekonomi Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Teori dan Aplikasi*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Husin, Y.A. 1990. *Dampak Terhadap Kualitas Air*. BKLH-MISETA IPB. Bogor.
- Marlyn, K. 1988. *Mining and Freshwater Enviroment* Elseiver Science. Publishers Ltd. Essex, England.
- Malthus. 1798. "An essay on the principle of population". London : electronic scholarly publishing project.
- Odem, E.P. 1971. *Fundamentals of Ecology*. Thirds Edition. WB Sounder Company. Philadelphia, London, Toronto. 574p.
- Salim, Emil. 1990, *Konsep Pembangunan Berkelanjutan*, Jakarta.
- Sinukaban, N. 1988. *Konservasi Tanah dan Air*. Jurusan Tanah-Faperta IPB. Bogor.

- Soemarwoto, O. 1989. Analisis Dampak Lingkungan. Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Soeratmo, G. 1988. Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL). Gadjah Mada Press. Yogyakarta.
- Soerianegara, I dan Indrawan A. 1977. Ekologi Hutan Indonesia, Departemen Manajemen Kehutanan, Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Soil Survey Staff. 1987. Keys to Soil Taxonomy. SMSS Technical Monograph No. 6 3rd Edition.
- Sugandy, A. 1980. Baku Mutu Lingkungan Sebagai Indikator Dampak Lingkungan Fisik. Makalah Simposium Nasional AMDAL-1 PPLH IPB. Bogor.
- Sutamihardja, 2004 Perubahan Lingkungan Global; Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Sekolah Pascasarjana; IPB

BAB 10

USAHA TANI KONSERVASI DI MASA DEPAN

Oleh Asri Mulya Ashari

10.1 Pendahuluan

Usaha tani konservasi merupakan pendekatan pertanian yang menggabungkan teknik konservasi tanah, air, dan keanekaragaman hayati dengan tujuan meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian. Di masa depan, praktik-praktik ini akan menjadi semakin penting dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, degradasi lahan, dan meningkatnya permintaan pangan. Usaha tani berbasis konservasi menawarkan banyak peluang untuk meningkatkan keberlanjutan, produktivitas, dan kesejahteraan petani, serta mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan (Maitra *et al.*, 2021).

Untuk mewujudkan potensi ini, perlu memperhitungkan tantangan yang ada melalui pendidikan, akses ke teknologi dan sumber daya, serta kebijakan yang mendukung. Dengan cara ini, pertanian berbasis konservasi dapat menjadi pendekatan yang kuat untuk memastikan ketahanan pangan dan keseimbangan ekosistem di masa depan. Konservasi tani atau pertanian berkelanjutan di masa depan akan memainkan peran penting dalam menjaga keseimbangan antara kebutuhan produksi pangan dan pelestarian lingkungan. Berbagai usaha pertanian yang berorientasi pada konservasi lahan termasuk sumber daya tanah dan air dapat dilakukan untuk mencapai tujuan dari pertanian berbasis konservasi.

10.2 Pertanian Regeneratif

Pertanian regeneratif adalah pendekatan pertanian yang berfokus pada peningkatan kesehatan tanah (Khangura *et al.*, 2023), keanekaragaman hayati, dan keseimbangan ekosistem secara keseluruhan. Tujuan utama dari pertanian regeneratif adalah untuk memperbaiki dan meningkatkan kualitas tanah dan lingkungan pertanian, alih-alih hanya mempertahankan atau mengeksploitasinya. Peningkatan kesehatan tanah dalam sistem pertanian regeneratif dapat dilakukan melalui penanaman tanaman penutup tanah seperti tanaman kacang-kacangan atau legum ataupun rumput untuk melindungi tanah dan erosi, menambah bahan organik dan meningkatkan kesuburan tanah (Giller *et al.*, 2021). Kesehatan tanah pertanian juga dapat dilakukan dengan penggunaan kompos dan pupuk organik untuk mengayakan tanah dengan mikroorganisme bermanfaat dan nutrisi alami. Untuk mengurangi gangguan terhadap struktur tanah dan mikrobioma tanah, dapat dilakukan dengan meminimalkan sistem pengolahan tanah.



Gambar 10. 1. Sistem agroforestri (sumber : google.doc)

Keanekaragaman hayati dalam pertanian regeneratif dapat diusahakan melalui sistem rotasi tanaman, yaitu dengan mengubah jenis tanaman yang sudah ditanam di lahan yang sama sebelumnya untuk mengurangi hama dan penyakit serta

meningkatkan kesehatan tanah. Sistem agroforestri juga menjadi pilihan yang bijak, yaitu melalui penggabungan tanaman pertanian dengan pohon atau tanaman keras lainnya sebagai usaha untuk meningkatkan keanekaragaman dan menyediakan habitat bagi satwa liar, seperti tampak pada gambar 1. Salah satu sistem agroforestri yang sering diterapkan oleh petani adalah sistem agroforestri tanaman kopi dengan tanaman palawija seperti kacang-kacangan ataupun timun dan tumbuhan sayur merambat lainnya (Evizal & Prasmatiwi, 2024).

Pada pengelolaan hama tanaman secara alami, digunakan musuh alami hama melalui teknik pengendalian hama biologis sehingga dapat mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia. Restorasi lahan dalam pertanian regeneratif dilakukan dengan pengubahan lahan yang terdegradasi atau terabaikan menjadi produktif kembali dengan menanam tanaman yang sesuai dan menerapkan praktik regeneratif. Pemeliharaan air dalam sistem regeneratif ini dengan menggunakan teknik yang menjaga dan meningkatkan kapasitas tanah untuk menahan air, seperti teknik irigasi yang efisien dan penangkapan air hujan. Selain itu, sangat penting untuk memastikan bahwa sirkulasi alamiah berlangsung dengan baik, di mana semua limbah organik dari tanaman dan hewan dikembalikan ke tanah untuk menambah bahan organik dan nutrisi tanah (Sanyal & Wolthuizen, 2021). Pemupukan dengan pupuk kimia dan penggunaan pestisida dan herbisida dihindari agar tidak merusak keseimbangan ekosistem tanah dan air.

Pertanian regeneratif dirancang untuk tujuan meningkatkan kesehatan tanah sehingga mampu menyimpan lebih banyak karbon, air, dan nutrisi, yang meningkatkan produktivitas pertanian dan ketahanan terhadap kekeringan (Elevitch *et al.*, 2018). Dengan memperbaiki kesehatan tanah dan meningkatkan kemampuan tanah untuk menyimpan karbon, pertanian regeneratif dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca. Peningkatan kualitas habitat bagi

berbagai spesies tanaman, hewan, dan mikroorganisme, dapat memperkaya keanekaragaman hayati. Secara keseluruhan, pertanian regeneratif berfokus pada praktik-praktik yang tidak hanya memproduksi pangan secara berkelanjutan tetapi juga memperbaiki dan memperkuat ekosistem pertanian untuk jangka panjang, sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan ketahanan pangan.

10.2 Sistem Pertanian Cerdas Iklim

Sistem pertanian cerdas iklim sering disebut *Smart Agriculture* (CSA) adalah suatu pendekatan pertanian berbasis konservasi yang bertujuan untuk mengubah dan mengorientasikan kembali sistem pertanian untuk mendukung pembangunan pertanian berkelanjutan di bawah kondisi perubahan iklim yang terus berlangsung (Sapkota *et al.*, 2015). CSA berfokus pada tiga tujuan utama antara lain meningkatkan produktivitas pertanian secara berkelanjutan, meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim, dan mengurangi atau menghilangkan emisi gas rumah kaca (mitigasi) yang dihasilkan dari aktivitas pertanian.

Peningkatan produktivitas pertanian berbasis CSA usaha untuk memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat yang sekaligus meningkatkan pendapatan petani dan meningkatkan ketahanan pangan di tingkat lokal dan global. Ketahanan terhadap perubahan iklim harus dapat diitingkatkan melalui peningkatan kemampuan sistem pertanian agar dapat beradaptasi dengan variabilitas iklim dan perubahan cuaca ekstrim seperti kekeringan, banjir, dan gelombang panas. Selain itu, juga perlu mengembangkan praktik dan teknologi yang membantu petani mengurangi risiko dan kerentanan terhadap perubahan iklim. Emisi gas rumah kaca dapat dikurangi melalui penerapan praktek pertanian berkelanjutan serta meningkatkan penyerapan karbon oleh tanah dan biomassa melalui teknik

seperti agroforestri dan peningkatan kandungan bahan organik tanah.

Pada sistem CSA, sistem pertanian dapat dilakukan dengan mengintegrasikan teknologi dan inovasi seperti penerapan sistem irigasi pintar, prediksi cuaca berbasis data, dan sensor tanah untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi, di samping melakukan pengembangan varietas tanaman yang lebih tahan terhadap kondisi iklim ekstrim dan hama. Promosi keanekaragaman tanaman dan sistem pertanian dapat dilakukan melalui cara integrasi berbagai jenis tanaman dan hewan dalam suatu sistem yang bertujuan untuk menciptakan sistem pertanian yang lebih beragam dan tangguh.

Penggunaan teknik seperti agroforestri, rotasi tanaman, dan polikultur untuk meningkatkan kesehatan tanah dan ketahanan ekosistem pertanian, juga menjadi bagian dari strategi CSA. Pada pemanfaatan sumber daya dilakukan dengan efisien untuk air, energi dan tanah sehingga dapat mereduksi dampak ke lingkungan. Hal ini dapat dilakukan melalui penerapan praktik-praktik konservasi air seperti sistem irigasi tetes yang ditunjukkan pada Gambar 10.2, dan pengumpulan air hujan untuk memastikan ketersediaan air yang berkelanjutan. Sistem irigasi dapat menyalurkan air langsung ke akar tanaman sehingga dapat mengurangi pemborosan air dan meningkatkan efisiensi penggunaan air, sedangkan penampungan air hujan dilakukan dengan mengumpulkan air hujan pada saat musim hujan untuk digunakan selama musim kemarau atau kekurangan air, dengan demikian siklus ketersediaan air dapat terjaga.



Gambar 10. 2. Sistem irigasi tetes sebagai implementasi pertanian cerdas iklim (sumber : google.doc)

Di tingkat petani, perlu dibekali dengan pengetahuan tentang adaptasi dan manajemen resiko, dengan melengkapi peralatan teknologi untuk petani secara individu ataupun komunitas atau kelompok tani, sehingga dengan cepat mendapatkan informasi tentang perubahan cuaca ekstri, secara respon cepat dapat amelakukan antisipasi dan merespon setiap bentuk perubahan cuaca secara ekstrim dan tidak menentu. Sistem peringatan dini dan prediksi cuaca yang dilakukan oleh badan meteorologi, klimatologi dan geofisika telah cukup membantu petani dalam membuat keputusan yang lebih baik tentang penanaman dan panen.

Penggunaan varietas tanaman tahan iklim dalam sistem pertanian CSA akan sangat membantu untuk mendapatkan produktivitas yang tinggi karena varietas tersebut tahan terhadap kekeringan, banjir, atau salinitas tinggi, sehingga akan lebih cocok untuk kondisi iklim lokal. Agroforestri dan sistem silvopastoral juga direkomendasikan dalam sistem CSA di mana tanaman tahunan dan pohon dengan pertanian dan peternakan digabungkan untuk meningkatkan produktivitas lahan dan ketahanan terhadap perubahan iklim. Sistem silvopastoral

mengintegrasikan pohon, tanaman pakan ternak, dan ternak dalam satu lahan, sehingga dapat meningkatkan keanekaragaman dan ketahanan ekosistem.

Selain penerapan praktik penanaman menggunakan tanaman penutup dan pengolahan tanah yang sangat minimalis dalam usaha meningkatkan kandungan bahan organik tanah dan penyimpanan karbon, sistem CSA juga dapat melakukan usaha diversifikasi tanaman ataupun rotasi tanaman dengan mengintegrasikan berbagai jenis tanaman dalam rotasi yang terencana untuk mencegah degradasi tanah, mengurangi risiko hama, dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan cuaca. Adopsi sumber energi terbarukan seperti tenaga surya untuk memompa air atau mengoperasikan peralatan pertanian, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil juga dapat menjadi alternatif usaha dalam sistem CSA. Banyak petani, terutama di negara berkembang, mungkin tidak memiliki akses ke teknologi canggih dan informasi yang diperlukan untuk mengimplementasikan praktik CSA. Penerapan teknologi baru dan praktik CSA sering kali memerlukan investasi awal yang signifikan, yang mungkin tidak dapat diakses oleh semua petani. Hal ini mendorong perlunya dukungan pemerintah melalui kebijakan dengan pemberian insentif bagi petani dalam mengadopsi praktik CSA, sehingga dapat mempercepat implementasi CSA yang lebih luas. Salah satu tantangan yang dihadapi dalam implementasi CSA adalah proses perubahan praktik pertanian tradisional yang telah membudaya karena dilakukan selama bertahun-tahun menjadi sistem pertanian yang terkontrol dan berbasis teknologi. Pertanian cerdas iklim adalah pendekatan komprehensif yang bertujuan untuk memastikan keberlanjutan pertanian dalam menghadapi tantangan perubahan iklim. Dengan menggabungkan teknologi, praktik pertanian yang berkelanjutan, dan strategi adaptasi, CSA berupaya untuk meminimalkan dampak negatif perubahan iklim

sekaligus meningkatkan produktivitas dan ketahanan sistem pertanian.

10.3 Sistem Pertanian Organik

Pertanian organik adalah sistem pertanian yang mengutamakan kelestarian lingkungan, kesehatan tanah, ekosistem, dan manusia. Praktik pertanian ini menghindari penggunaan bahan kimia sintetis seperti pestisida, pupuk, hormon pertumbuhan, dan antibiotik untuk ternak. Sebagai gantinya, pertanian organik mengandalkan proses alami dan teknik yang mendukung keseimbangan ekologis serta siklus biologis. Pertanian organik bertujuan menjaga dan meningkatkan kesehatan tanah, tanaman, hewan, manusia, dan planet sebagai satu kesatuan yang tak terpisahkan (Mayrowani, H. 2012). Praktik ini mendukung sistem biologis yang sehat, seperti mikroorganisme tanah, yang merupakan dasar dari produksi makanan yang sehat. Pendekatan organik berusaha untuk mengintegrasikan siklus ekologi alami dan memperkuat mereka. Ini termasuk praktik seperti rotasi tanaman, penggunaan pupuk hijau, dan pengendalian hama alami yang memperkaya tanah dan menjaga keseimbangan ekosistem.

Pertanian organik juga memiliki tujuan lain yaitu untuk membangun hubungan yang adil dan menghormati lingkungan, manusia, dan hewan, termasuk memberikan kondisi kerja yang baik untuk petani dan pekerja, serta menjaga kesejahteraan hewan ternak. Pertanian organik mempraktikkan pendekatan pencegahan dan tanggung jawab untuk menjaga lingkungan dan kesehatan masyarakat, yang berarti menghindari penggunaan bahan-bahan yang dapat menimbulkan risiko jangka panjang terhadap kesehatan atau lingkungan (Yuriansyah *et al.*, 2020). Beberapa usaha yang dilakukan dalam penerapan sistem pertanian organik antara lain adalah dengan pengelolaan tanah

dan kesuburan menggunakan pupuk organik seperti pupuk kandang, pupuk hijau dan kompos, untuk memperkaya tanah dan meningkatkan strukturnya. Ini membantu menjaga kesuburan tanah dan mendukung kehidupan mikroorganisme. Penanaman berbagai jenis tanaman secara bergantian di lahan yang sama untuk mencegah kelelahan dan kekurangan atau krisis unsur hara tanah, mengurangi risiko penyakit, dan meningkatkan keseimbangan nutrisi. Pada pola pertanian organik, metode penggunaan musuh alami hama dapat digabungkan bersamaan dengan pengelolaan tanaman secara tepat melalui rotasi tanaman untuk mengendalikan populasi hama tanpa bahan kimia sintetis. Selain itu, direkomendasikan untuk menggunakan bahan alami seperti neem, minyak atsiri, atau sabun insektisida buatan sendiri untuk mengendalikan serangga dan hama lainnya. Sistem polikultur juga dapat dilakukan dengan menanam berbagai jenis tanaman bersama-sama dalam satu lahan untuk meningkatkan keanekaragaman hayati, yang dapat membantu mengurangi risiko hama dan penyakit serta meningkatkan kesuburan tanah. Tanaman tahunan dapat digabungkan dengan tanaman hutan atau pohon untuk menciptakan ekosistem yang lebih seimbang dan mendukung.

Pertanian organik yang terintegrasi dengan ternak unggas atau mamalia, ataupun budidaya ikan, dapat menggunakan pakan organik yaitu pakan alami bebas dari antibiotik dan hormon pertumbuhan (Gambar 10.3), di samping menyediakan kondisi yang mendukung kesejahteraan hewan, termasuk akses ke ruang terbuka dan lingkungan yang bebas stres.



Gambar 10. 3. Sistem pertanian organik yang terintegrasi dengan budidaya ikan air tawar

Seperti pada sistem pertanian berbasis CSA dan regeneratif, dalam sistem pertanian organik ini juga dapat menggunakan teknik penghematan air melalui penggunaan teknik irigasi tetes dan mulsa organik untuk mengurangi penguapan air dan meningkatkan efisiensi penggunaan air. Air limbah yang dihasilkan dapat diproses secara alamiah dengan menyiapkan kolam penampungan atau sistem biofilter untuk mengolah air limbah pertanian sebelum dilepaskan kembali ke lingkungan (Li *et al.*, 2020).

Pertanian organik berdampak bukan hanya pada lingkungan saja, tapi juga secara sosial ekonomi dan kesehatan masyarakat. Dampak lingkungan dari sistem pertanian organik adalah dapat mengurangi penggunaan bahan kimia sintetis yang dapat mencemari air tanah dan saluran air, dan teknik seperti polikultur dan agroforestri mendukung habitat bagi berbagai spesies tanaman dan hewan, yang meningkatkan keanekaragaman hayati. Dengan menghindari penggunaan bahan kimia sintetis dan mempromosikan penggunaan bahan organik, pertanian organik dapat menjaga dan meningkatkan kesuburan tanah dalam jangka panjang. Dampak sosial ditunjukkan dengan keberadaan pertanian organik yang mendukung praktik perdagangan adil dan menyediakan kondisi kerja yang lebih baik bagi petani dan pekerja pertanian, sekaligus meningkatkan kesadaran konsumen tentang sumber

makanan mereka dan pentingnya praktik pertanian yang berkelanjutan. Dampak ekonomi dari sistem pertanian organik adalah tingginya nilai jual produk karena produk pertanian organik merupakan pangan sehat alternatif dan bebas bahan kimia. Selain itu, pertanian organik dapat meningkatkan ketahanan pangan melalui promosi sistem pertanian yang lebih beragam dan berkelanjutan. Dampak produk pertanian terhadap kesehatan adalah bahwa produk pertanian organik bebas residu pestisida sintesis dan pupuk kimia, berkontribusi pada kesehatan manusia yang lebih baik, serta kandungan nutrisi produk pertanian organik lebih tinggi dibandingkan produk konvensional (Sutarni *et al.*, 2017).

Beberapa tantangan yang dihadapi dalam melakukan sistem pertanian organik antara lain adalah biaya produksi yang lebih tinggi karena membutuhkan lebih banyak pengetahuan dan keterampilan dalam pengelolaan tanah, tanaman, dan hama. Pada tahap awal transisi ke pertanian organik, hasil panen bisa lebih rendah dibandingkan dengan pertanian konvensional karena perlu ada penyesuaian dalam praktik pertanian dan kondisi tanah. Demikian juga dengan terbatasnya ketersediaan bahan organik berkualitas tinggi seperti kompos dan pupuk kandang dapat menjadi kendala, terutama di daerah di mana sumber daya tersebut tidak mudah diakses. Proses sertifikasi organik bisa mahal dan memakan waktu, terutama bagi petani kecil atau yang baru memulai transisi ke metode organik. Pertanian organik adalah pendekatan holistik yang berfokus pada kesehatan tanah, lingkungan, dan manusia, dengan menghindari penggunaan bahan kimia sintesis dan mempromosikan praktik-praktik berkelanjutan. Meskipun menghadapi berbagai tantangan, seperti biaya produksi yang lebih tinggi dan hasil panen yang lebih rendah pada tahap awal, pertanian organik menawarkan manfaat signifikan bagi lingkungan, kesehatan manusia, dan ketahanan pangan jangka panjang. Dengan meningkatnya kesadaran dan permintaan

konsumen untuk produk yang lebih sehat dan berkelanjutan, pertanian organik terus berkembang sebagai pilihan penting dalam upaya global untuk pertanian yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Elevitch, C. R., D. N. Mazaroli, and D. Ragone. 2018. "Agroforestry Standards for Regenerative Agriculture." *Sustainability*, 10, 1–21. <https://doi.org/10.3390/su10093337>.
- Evizal, R., & Prasmatiwi, F.E. 2024 Penerapan Pertanian Regeneratif pada Perkebunan Kopi Jurnal. *Agrotropika*, 23 (1), 37-47
- Giller, K. E., R. Hijbeek, J. A. Andersson, and J. Sumberg. 2021. "Regenerative Agriculture: An Agronomic Perspective." *Outlook on Agriculture* 50 (1): 13–25. <https://doi.org/10.1177/0030727021998063>.
- Khangura, R.; Ferris, D.; Wagg, C.; & Bowyer, J. 2023. Regenerative Agriculture—A Literature Review on the Practices and Mechanisms Used to Improve Soil Health. *Sustainability*, 15, 2338. <https://doi.org/10.3390/su15032338>.
- Li, Y.; Li, Z.; Chang, S.X.; Cui, S.; Jagadamma, S.; Zhang, Q.; Cai, Y. 2020. Residue retention promotes soil carbon accumulation in minimum tillage systems: Implications for conservation agriculture. *Sci. Total. Environ.* 140147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140147>.
- Maitra, S., A. Hossain, M. Brestic, M. Skalicky, P. Ondrisik, H. Gitari, K. Brahmachari, et al. 2021. Intercropping—A Low Input Agricultural Strategy for Food and Environmental Security. *Agronomy*, 11 (343), 1–29. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020343>.
- Mayrowani, H. 2012. Pengembangan Pertanian Organik Di Indonesia. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*. 30(2):91-108. <http://dx.doi.org/10.21082/fae.v30n2.2012.91-108>

- Sanyal, D., and J. Wolthuizen. 2021. "Regenerative Agriculture: Beyond Sustainability." *International Journal on Agriculture Research and Environmental Sciences* 2 (1): 2–4. <https://doi.org/10.51626/ijares.2021.02.00007>.
- Sapkota, T.B.; Jat, M.L.; Aryal, J.P.; Jat, R.K., Khatri-Chhetri, A. 2015. Climate change adaptation, greenhouse gas mitigation and economic profitability of conservation agriculture: Some examples from cereal systems of Indo-Gangetic Plains. *J. Integr. Agric.* 14, 1524–1533. [https://doi.org/10.1016/s2095-3119\(15\)61093-0](https://doi.org/10.1016/s2095-3119(15)61093-0).
- Sutarni, S., Trisnanto, T.B., Unteawati, B. 2017. Preferensi Konsumen Terhadap Atribut Produk Sayuran Organik di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. 17(3):203-211. <http://dx.doi.org/10.25181/jppt.v17i3.337>
- Yuriansyah., Dulbari., Sutrisno, H., & Maksum. 2020. Pertanian Organik sebagai Salah Satu Konsep Pertanian Berkelanjutan, *Pengabdianmu*, 5 (2).

BIODATA PENULIS**Andi Masnang**

Dosen Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian,
Universitas Nusa Bangsa

Penulis lahir di Kabupaten Soppeng, Sulawesi Selatan tanggal 19 November 1965. Penulis adalah dosen tetap pada program studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Nusa Bangsa. Penulis menyelesaikan pendidikan S1 pada jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tahun 1990. Pada tahun 1995 menyelesaikan S2 pada jurusan Ilmu Tanah Institut Pertanian Bogor. Pada tahun 2011 lulus program doktor di Institut Pertanian Bogor dengan spesialisasi Ilmu Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.

Karir di bidang pendidikan mulai sebagai dosen sejak tahun 1994 pada mata ajaran Ilmu Tanah; Konservasi Tanah dan Air; Pengelolaan Tanah dan Air; Kesuburan dan kesehatan tanah; Dasar-Dasar Klimatologi. Sebagai ahli tanah maupun ahli Pengelolaan daerah aliran sungai, penulis telah banyak melakukan penelitian serta mengikuti seminar profesi dalam bidang-bidang tersebut di atas pada tingkat Nasional maupun Internasional.

BIODATA PENULIS



Dr. Amrullah Mansida, ST., M.T., Asean Eng.

Dosen Program Studi Teknik Pengairan

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

Penulis lahir di Enrekang. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Menyelesaikan pendidikan S_1 pada program Studi Teknik pengairan Unismuh Makassar, melanjutkan S_2 dan menyelesaikan S_3 program Studi Teknik Sipil di Universitas Hasanuddin. Penulis menekuni bidang Menulis Teknik sipil, Teknik Sungai, Morfologi Sungai, Drainase Perkotaan, Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Pengembangan Sumber Daya Air, Insinyur Indonesia, Sistem manajemen K3, Manajemen Risiko; Teori, Kasus, dan Solusi serta Etika Profesi Teknik, Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja, metode penelitian dan pengembangannya, Manajemen Teknik: Panduan Praktis untuk Keberhasilan Dalam proyek Teknik.

Pengalaman penulis sebagai mengajar matakuliah Hidrologi Teknik I, Hidrologi Teknik II, Morfologi Sungai, Teknik Sungai, Pengembangan Sumber Daya Air, Perencanaan dan pengelolaan Waduk, Etika Profesi, dan Standar Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), sampai sekarang. Selain menjadi pengajar di kampus

penulis mengabdikan keilmuannya dengan berpartisipasi membangun bangsa melalui keterlibatan sebagai konsultan perencanaan, pengawasan bidang pengembangan sumber daya air dan menjadi asesor sertifikat SKA Asosiasi serta asesor BKD.

BIODATA PENULIS



Dr. Lusia Sulo Marimpan, S.Hut., M.Sc

Dosen Program Studi Kehutanan

Fakultas Pertanian Universitas Nusa Cendana Kupang

Penulis lahir di Lembang Tumbang Datu Kecamatan Sangalla Utara Kabupaten Tana Toraja tanggal 14 Agustus 1981. Lahir dari orang tua Petrus Ganti dan Margaretha Paniki (almh) sebagai anak keempat dari lima bersaudara. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Nusa Cendana Kupang. Menyelesaikan pendidikan dasar di Sekolah Dasar Negeri (SDN) No. 270 Tumbang Datu, pendidikan menengah di Sekolah Menengah Pertama (SMP) Katolik Sangalla dan Pendidikan menengah atas di Sekolah Menengah Umum Negeri (SMUN) 1 Makale. Pendidikan Diploma III pada Program Studi Kehutanan Fakultas Pertanian dan Kehutanan. Pendidikan S1 diselesaikan pada Program Studi Manajemen Hutan Fakultas Pertanian dan Kehutanan Universitas Hasanuddin kemudian melanjutkan pendidikan S2 dan S3 pada Program Studi Ilmu Kehutanan Fakultas Kehutanan Universitas Gadjah Mada. Penulis menekuni bidang Manajemen hutan khususnya pada kajian biomassa karbon hutan dan faktor-faktor yang mempengaruhinya.

BIODATA PENULIS

Henly Yulina, S.P., M.P.

Dosen Program Studi Agroteknologi
Fakultas Pertanian Universitas Bale Bandung

Penulis lahir di Bandung, 20 Juli 1989. Penulis merupakan lulusan S1 di Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran pada tahun 2011 dan studi S2 di Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran pada tahun 2014. Penulis merupakan dosen Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian, Universitas Bale Bandung dan mengampu mata kuliah Mekanisasi dan Konservasi Pertanian, Irigasi dan Drainase, Rancangan Percobaan, Fisika Dasar, Kimia Dasar I, Ekologi Tanaman. Penulis aktif melaksanakan Tridharma Perguruan Tinggi, salah satunya adalah menulis buku.

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 tanggal 23 April 1970. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian dan Kehutanan, Universitas Sulawesi Barat. Beliau 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, dan *Book Chapter* Metodologi *Research and Development*.

BIODATA PENULIS**Suhardi**

Dosen Program Studi Teknik Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin

Penulis lahir di Bengo tanggal 10 Agustus 1971. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Program Studi Mekanisasi Pertanian Universitas Hasanuddin (tahun 1995), melanjutkan S2 pada Program Studi Mekanisasi Pertanian Universitas Gadjah Mada (1996-1998) dan S3 pada Program Studi Pengelolaan Aliran Sungai (DAS) Institut Pertanian Bogor (2003-2005). Penulis menekuni bidang Konservasi Tanah dan Air dengan melakukan beberapa penelitian dan publikasi yang terkait. Di antaranya adalah penelitian untuk menekan erosi dan aliran permukaan pada lahan kakao, irigasi hemat air dan panen hujan pada lahan kakao dan pengelolaan airtanah untuk irigasi padi.

BIODATA PENULIS



Ir. Muh. Ansar, SP, M.Si

Dosen Program Studi Ilmu Tanah
Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin

Penulis lahir di Lingkungan Biroro Kecamatan Bulukumpa Kabupaten Bulukumpa Provinsi Sulawesi Selatan tanggal 3 Mei 1973. Tahun 1992 penulis lulus dari SMA Negeri I Bulukumpa dan lulus ujian seleksi masuk Universitas Hasanuddin pada tahun 1993 melalui Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru (SPMB), selesai tahun 1997. Penulis memilih Program Studi Ilmu Tanah, Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian dan Kehutanan. Kemudian melanjutkan S2 pada tahun 2007 di Program Studi Ilmu Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) di IPB University, selesai tahun 2009.

Selama mengikuti perkuliahan, penulis menjadi Asisten Dosen pada mata kuliah Dasar-Dasar Ilmu Tanah pada tahun 1994/1997, mata kuliah Hidrologi dan Irigasi pada tahun 1995/1997, dan mata kuliah Konservasi Tanah dan Air pada tahun 1996/2000.

Penulis bekerja sebagai Staf Pengajar di Jurusan Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin sejak tahun 2001.

Mata kuliah yang menjadi tanggung jawab penulis adalah Agrohidrologi, Pengelolaan DAS Terpadu, dan Konservasi Tanah dan Air.

BIODATA PENULIS



Yofris Puay, S.Hut., M.Sc.

Dosen Program Studi Pengelolaan Hutan
Politeknik Pertanian Negeri Kupang

Penulis lahir di Nobi-Nobi, NTT pada tanggal 12 Juli 1985. Penulis adalah dosen tetap pada Program Studi Pengelolaan Hutan, Jurusan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Kupang. Menyelesaikan pendidikan S1 pada Jurusan Manajemen Hutan, Universitas Gadjah Mada pada tahun 2008 dan menulis Skripsi dengan judul “Pemetaan Distribusi Besanya Erosi di Wilayah Kecamatan Amanuban Tengah, Kabupaten Timor Tengah Selatan, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Pada tahun 2011, penulis melanjutkan pendidikan S2 di Universitas Gadjah Mada dan menyelesaikan studi dengan menulis Tesis berjudul “Analisis Erosi dan Kemampuan Lahan untuk Arahan Penggunaan Lahan dengan Metode Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (Kasus di DAS Nunkurus, Kabupaten Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur).

Sebagai seorang dosen, penulis melaksanakan Tri Dharma Perguruan Tinggi dengan beberapa fokus utama yang penulis tekuni yaitu bidang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai,

Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh. Saat ini (tahun 2024), penulis sedang melanjutkan Studi Doktor di Program Studi Doktor Ilmu Kehutanan, Universitas Gadjah Mada.

BIODATA PENULIS



Yunus Arifien

Ppenulis lahir di Surakarta, 4 November 1961. Gelar Sarjana dari Institut Pertanian Bogor, Jurusan Ilmu Tanah (Konservasi Tanah) pada tahun 1984, Gelar Magister dari Institut Pertanian Bogor, Program Studi Tanah (Evaluasi Tanah) pada tahun 1994 dan Gelar Doktor dari Institut Pertanian Bogor Program Studi Perencanaan Pembangunan Wilayah dan Perdesaan (PWD) pada tahun 2012. Sejak tahun 1987 mengajar di Universitas Nusa Bangsa mata kuliah Statistika, Kesuburan Tanah, dan Perencanaan Wilayah dan Perdesaan. Penulis juga merupakan sebagai tenaga ahli di beberapa konsultan dan Kementerian Pertanian, Kementerian Desa, Transmigrasi dan Daerah Tertinggal, Kementerian Pekerjaan Umum, Kementerian Perindustrian, Kementerian Kehutanan, dan Badan Restorasi Gambut, dll. Beberapa buku yang ditulis antara lain Buku Peranan Land Reform Dalam Pembangunan Pertanian, Buku Pengelolaan Potensi Dan Sumber Daya Sawah, Buku Pertanian, Kehutanan Dan Kesejahteraan Petani, Buku Pengantar Ilmu Pertanian, Buku Analisis Dampak Lingkungan Hidup (AMDAL) dan Buku Paradigma Agribisnis.

BIODATA PENULIS**Asri Mulya Ashari, S.P., M.P**

Dosen Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian
Universitas Tanjungpura

Penulis lahir di Suban, 31 Januari 1987, ia telah menempuh pendidikan S1 di Fakultas Pertanian Universitas Sultan Ageng Tirtayasa (UNTIRTA), Banten (2005), lalu melanjutkan studi S2 di Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran (UNPAD) 2014. Selain itu penulis pernah bekerja di PT. Tjikembar yang merupakan perusahaan yang bergerak dibidang perkebunan karet sebagai supervisor (2012 – 2014), ia juga pernah bekerja di perusahaan PT. Widodo Makmur Unggas (WMU) (2017 – 2018). Selain itu penulis juga pernah menjadi narasumber di radio RRI Pontianak dengan tema "Budidaya Tanaman Pisang" (2021). Kini ia aktif bekerja sebagai dosen di Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Tanjungpura. Penulis dapat dihubungi melalui email : asri.mulyaashari@faperta.untan.ac.id