

PENGELOLAAN LAHAN KERING DAN TERCEMAR



DR. IR. AMIR HAMZAH, MP

DR. IR. ROSSYDA PRIYADARASHINI, MP

Dr. Ir. Amir Hamzah, MP.
Dr. Ir. Rosyda Priyadarshini, MP.

PENGELOLAAN LAHAN KERING DAN TERCEMAR



Penerbit Forind

PENGELOLAAN LAHAN KERING DAN TERCEMAR

Copyright©:

Dr. Ir. Amir Hamzah, MP.

Dr. Ir. Rossyda Priyadarshini, MP.

ISBN:

Cover & Layout: Tim Forind

Diterbitkan oleh Forind

Jl. Raya Tlogomas 05 No. 24 Tlogomas

Malang Jawa Timur

Pengelolaan Lahan Kering dan Tercemar/Hamzah & Priyadarshini

Malang: Forind, 2025

15,5 x 23 cm

xii + 115 hlm

Cetakan Pertama: Januari 2025

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak buku ini sebagian atau seluruhnya, dalam bentuk dan dengan cara apa pun juga, baik secara mekanis maupun elektronik, termasuk fotokopi, rekaman, dan lain-lain tanpa izin tertulis dari penerbit.

PENGANTAR PAKAR

Kita patut bersyukur, bahwa kita hidup di negeri yang kaya akan sumberdaya alam, baik dilaut maupun di darat. Kekayaan alam kita di darat berupa lahan basah maupun lahan kering. Kita punya lahan basah sekitar 9 juta hektar, sedangkan lahan kering sekitar 148 juta hektar. Saat ini penduduk Indonesia kurang lebih 270,2 juta jiwa berdasarkan sensus penduduk tahun 2020. Dari jumlah tersebut, 70% penduduknya bergantung pada beras yang dipasok dari lahan basah yang hanya 9 juta hektar tersebut. Sekitar 30 % dari penduduk mengkonsumsi pangan dari non beras yang diproduksi dari lahan kering. Melihat fenomena ini maka orientasi pengembangan pertanian diarahkan pada lahan kering yang luasnya sekitar 148 juta hektar.

Pertanian lahan kering dikategorikan atas pertanian lahan kering masam dan lahan kering iklim kering. Kategori lahan kering masam memiliki faktor pembatas utama kemasaman tanah, sedangkan kategori lahan kering iklim kering keberadaan air sebagai faktor pembatas. Kedua jenis lahan ini dapat digunakan sebagai lahan pertanian yang potensial karena luasannya cukup besar. Permasalahan utama lahan kering ada pada ketersediaan air, upaya pemanfaatannya dilakukan dengan teknologi yang spesifik, serta tindakan konservasi tanah dan air yang memadai agar pemanfaatannya berkelanjutan.

Selain permasalahan yang dihadapi lahan kering, sebagian lahan kita juga mengalami masalah pencemaran. Sumber pencemaran utama adalah antropogenik, seperti industri, pertambangan, residu pupuk maupun pestisida yang melampaui batas, dan faktor penyebab lain. Upaya pengendalianpun sebenarnya sudah cukup banyak, walaupun tingkat keberhasilannya belum seratus persen karena banyak faktor yang ikut terlibat di dalamnya. Namun demikian buku

yang ditulis ini telah memberikan sedikit gambaran tentang bagaimana teknik pengelolaannya.

Buku ini mengungkap beberapa data yang dapat dijadikan sebagai rujukan terutama bagi mahasiswa, peneliti dan *stakeholders*. Semoga buku ini bermanfaat bagi pembaca sekalian.

Malang, 2 Januari 2025

Prof. Dr. Ir. Wani Hadi Utomo

PRAKATA PENULIS

Permasalahan lahan kering dan tanah tercemar di Indonesia ibarat buah simalakama, dibiarkan sayang tidak ditinggalkan sayang. Kalimat ini menjadi pembuka, dimana saat ini kita dihadapkan dengan persoalan pangan akibat terbatasnya lahan pertanian kita. Sebagian besar penduduk Indonesia menggantungkan hidupnya pada lahan sawah yang jumlahnya hanya sekitar 9 juta ha. Sementara lahan kering yang jumlahnya hampir dua kali lipat belum dioptimalkan. Hal ini diperparah oleh masalah global yang berkaitan dengan meningkatnya degradasi lahan. Pendayagunaan lahan kering dan tercemar diharapkan dapat meningkatkan produksi pertanian untuk memenuhi kebutuhan pangan dalam jumlah yang cukup dan sehat.

Buku ini sengaja mengungkap potensi dan sebaran lahan kering kita yang saat ini jumlah sekitar 148 juta ha. Begitu juga dengan lahan tercemar akibat antropogenik. Kedua kondisi tanah yang dengan berbagai permasalahan di atas sebenarnya memiliki potensi yang besar. Lahan-lahan tersebut potensial sebagai sumberdaya pertanian masa depan yang perlu dioptimalkan. Pemanfaatan lahan kering dan tercemar sudah saatnya mendapatkan porsi terbesar untuk dikembangkan dengan berbagai teknologi untuk meningkatkan produktivitas tanah. Di samping itu pengembangan pertanian sebagai penopang kebutuhan tetap ditingkatkan dengan tetap menjaga fungsinya untuk stabilisasi dan meningkatkan kinerja ekosistem.

Penulis mengucapkan terima kasih yang tulus kepada semua orang yang berkontribusi pada penerbitan buku ini. Kami sadar bahwa buku ini masih memiliki banyak kekurangan, untuk itu kami mohon umpan balik dan koreksi dari pembaca untuk menyempur-

nakannya. Semoga bermanfaat, terutama mahasiswa dan pemerhati masalah lahan.

Malang, 2 Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

PENGANTAR PAKAR	iii
PRAKATA PENULIS	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL.....	iv
DAFTAR GAMBAR	iv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Pengertian Lahan Kering	1
B. Pentingnya Pengelolaan Lahan Kering	4
C. Ciri Pertanian Lahan Kering	5
BAB 2. POTENSI LAHAN DAN PERSEBARAN	8
A. Potensi Lahan Sawah	8
B. Potensi Lahan Kering dan Sebaran	10
BAB 3. PERMASALAHAN LAHAN KERING	15
A. Topografi	16
B. Kesuburan Tanah	17
C. Ketersediaan Air	18
D. Degradasi Lahan	20
E. Kendala Sosial Ekonomi	20
BAB 4. TEKNOLOGI PENGELOLAAN LAHAN KERING	22
A. Konservasi Tanah	22
B. Perbaikan Kesuburan Tanah	24
C. Pengelolaan Air Pertanian Lahan Kering	27
D. Rehabilitasi Lahan	29
E. Pemecahan Masalah Sosial Ekonomi	39

BAB 5. STRATEGI INOVASI PENGELOLAAN LAHAN KERING	41
A. Pengelolaan Lahan Kering	41
B. Pemetaan dan Kesesuaian Lahan	43
C. Pewilayahan Komoditas Lahan Kering	43
D. Aplikasi Teknologi Pertanian	44
E. Konservasi Tanah dan Air	50
F. Pertanian Terpadu.....	52
BAB 6. PENCEMARAN TANAH	60
A. Definisi Pencemaran Tanah	60
B. Faktor Penyebab Pencemaran Tanah	61
C. Efek Pencemaran Tanah	66
BAB 7. TEKNOLOGI PENANGGULANGAN PENCEMARAN	
TANAH	71
A. Remediasi Tanah Secara Fisik	73
B. Teknologi Fitoremediasi	74
C. Teknologi Bioremediasi	79
D. Penyerapan dan Reduksi Logam Berat	81
BAB 8. PEMBENAH TANAH DAN APLIKASI	84
A. Biochar Sebagai Pembenh Tanah	84
B. Biochar Coated Humat (Bicomat) dan Aplikasi Pada Tanaman Padi	85
C. Penggunaan Bicomat Terhadap Reduksi Pb dan Cu Tanah	90
DAFTAR PUSTAKA	95
INDEKS	109
GLOSARIUM	112
BIOGRAFI PENULIS	114

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1. Luas lahan kering yang potensial untuk pengembangan pertanian	3
Tabel 2. Data luas lahan pertanian di Indonesia	10
Tabel 3. Potensi lahan kering masing-masing pulau di Indonesia	13
Tabel 4. Sebaran topografi pada berbagai pulau di Indonesia	17
Tabel 5. Karakteristik Kimia Tanah Ultisols dan Oxisols di Indonesia	18
Tabel 6. Sifat kimia <i>biochar</i> yang dibuat dari berbagai bahan baku	47
Tabel 7. Kadar logam berat dalam beberapa jenis pupuk anorganik dan organik	64
Tabel 8. Batas kritis logam berat dalam tanah, air, tanaman dan beras	72
Tabel 9. Batas maksimum cemaran logam berat	72
Table 10. Mekanisme fitoremediasi	75
Tabel 11. Hasil analisis ragam penggunaan Bicomat dan jarak tanam padi	88

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1. Sebaran luas lahan menurut pulau di Indonesia	9
Gambar 2. Perkembangan luas lahan sawah di Indonesia	9
Gambar 3. Gambaran kondisi lahan kering	19
Gambar 4. Model embung untuk menampung air hujan dan dipanen pada saat musim kemarau	28
Gambar 5. Irigasi springkel dan irigasi tetes	29
Gambar 6. Pertanaman lorong	31
Gambar 7. Penanaman dalam strip	32
Gambar 8. Tanaman penutup tanah	33
Gambar 9. Teknik penggunaan mulsa	33
Gambar 10. Konservasi lahan dengan metode vegetatif	35
Gambar 11. Bentuk teras pada lahan miring	36
Gambar 12. Bagan wind break	37
Gambar 13. Dam parit untuk menampung dan mengalirkan air	38
Gambar 14. Penentuan pola tanam	50
Gambar 15. Pencemaran tanah dan air oleh industri	63
Gambar 16. Dampak pencemaran tanah	66
Gambar 17. Alat soil washing	73
Gambar 18. Serapan Hg dan Pb pada tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i>	76
Gambar 19. Tanaman <i>Vetiveria zizanioides</i>	77
Gambar 20. Jenis-jenis tanaman liar yang potensial sebagai tanaman remediator	78
Gambar 21. Proses pembuatan bicomat	86
Gambar 22. Produk Bicomat yang sudah dikemas	86
Gambar 23. Dampak penggunaan bicomat terhadap pertumbuhan padi	87
Gambar 24. Tanaman padi saat panen	89
Gambar 25. Reduksi logam berat Pb	91
Gambar 26. Reduksi logam berat Cu	92

Dr. Ir. Amir Hamzah, MP.
Dr. Ir. Rosyda Priyadarshini, MP.

PENGELOLAAN LAHAN KERING DAN TERCEMAR

PENDAHULUAN

A. Pengertian Lahan Kering

Selama ini, belum ada kesepakatan tentang definisi lahan kering di Indonesia. Meskipun demikian, istilah lahan kering dapat mencakup *upland*, *dryland*, dan *unrigated land*, yang merujuk pada praktik pertanian tadah hujan. Istilah *upland* (dataran tinggi) mengacu pada dataran tinggi yang merupakan kebalikan dari *dryland* (dataran rendah) (Tejoyuwono, 1989). Lahan kering biasanya berhubungan dengan wilayah atau areal yang bebas banjir untuk jangka waktu yang lama berkisar dari beberapa bulan hingga satu tahun. Masalah yang sering terjadi pada wilayah kering adalah kelangkaan sumber daya air. Penelitian Las et al. (2014) mengklasifikasikan lahan kering menjadi empat tipe tergantung pada ketinggian dan curah hujan yaitu pada daerah dataran rendah dibagi menjadi lahan kering iklim basah dan iklim kering sedangkan pada daerah dataran tinggi dibagi menjadi lahan kering dengan iklim basah dan iklim kering, sebagai berikut:

1. Dataran rendah – lahan kering iklim basah: Kelompok tanah khusus ini telah mengalami perkembangan signifikan dan telah mengalami pelapukan dan pencucian nutrisi yang intensif. Golongan tanah ini didominasi oleh tanah *oxisol*, *ultisol* dan *inceptisol*, dengan pH yang masam sehingga dikategorikan sebagai tanah masam. Kadar Al nya cukup tinggi serta fiksasi P juga tinggi. Memiliki KTK dan basa-basa dapat ditukar tergolong rendah. Lebih jauh lagi, kadar zat besi dan mangan mendekati ambang batas toksisitas, rentan terhadap erosi, dan miskin elemen biotik.
2. Dataran rendah - lahan kering iklim kering: Golongan jenis tanah

ini memiliki kesuburan tanah yang lebih baik dibandingkan dengan wilayah kering beriklim basah. Beberapa jenis tanah yang termasuk diantaranya adalah Inceptisol, Alfisol, Mollisol, Entisol, dan Vertisol. Tanah ini terbentuk dari kombinasi batu kapur, sedimen, dan material vulkanik dan pencucian basa yang sedikit. Tanah ini mengandung basa dengan kejenuhan basa lebih dari 60%, memiliki pH netral atau cenderung agak basa, bahkan di tanah dengan bahan induk batu kapur dengan pH di atas 7,5 (menunjukkan alkalinitas).

3. Dataran tinggi – lahan kering iklim basah: Beberapa jenis tanah yang termasuk Ultisol, Oxisol, dan Inceptisol. Tanah Andisol di sekitar pegunungan memiliki tekstur tanah yang kasar dan berwarna agak hitam. Andisol banyak digunakan untuk budidaya sayuran di dataran tinggi (lebih dari 700 m dpl), seperti brokoli, wortel, kubis, kentang, dan berbagai jenis sayuran buah dan daun. Adapun tanaman buah yang sesuai dengan areal ini adalah apel, kopi arabika, dan beberapa jenis jeruk. Terkadang terdapat sayuran yang ditanam pada lahan yang berlereng curam (lebih dari 25 %) yang menyebabkan sering terjadinya erosi.
4. Dataran tinggi -lahan kering iklim kering: Areal ini biasanya memiliki ciri-ciri solum dangkal, lahan berbatu, dan banyak singkapan batu, dan sebagian besar digunakan untuk budidaya tanaman sayur-sayuran dan tanaman tahunan. Jenis tanah yang dominan dengan ciri-ciri ini meliputi Alfisol, Inceptisol, Mollisol, dan Andisol, yang menunjukkan tingkat kesuburan yang lebih tinggi. Secara geografis tanah tersebar di banyak wilayah termasuk Jatim, Bali, dan NTT. Kadar pH areal ini berkisar netral hingga basa karena terbentuk dari bahan induk yang terdiri dari batu kapur dan lahan berkapur.

Berdasarkan hasil di atas, "lahan kering" adalah area tanah yang dimanfaatkan tanpa atau sedikit air, dengan sumber air utamanya

berasal dari air hujan dan irigasi secara permanen maupun musiman. Menurut Haryati (2002), lahan kering adalah area tanah yang jarang tergenang air dalam waktu satu tahun. Jenis lahan ini ditemukan di dataran rendah hingga dataran tinggi. Menurut pembahasan di atas, beberapa kelompok lahan kering yaitu tadah hujan, tegalan, ladang, kebun campuran, perkebunan, hutan, semak, padang rumput, dan alang-alang.

Diharapkan pengembangan pertanian di lahan kering dapat memberikan kontribusi yang signifikan kepada sektor pertanian Indonesia. Lahan kering merupakan salah satu sumber daya yang sangat berpotensi untuk Pembangunan pertanian (Wahyunto dan Shofiyati, 2014). Lahan kering didefinisikan sebagai area tanah yang terbatas atau kekurangan air sepanjang tahun. Ketika sumber air terbatas, kandungan lengas tanah, atau (*soil moisture content*) berada di daerah dengan kondisi di bawah kapasitas lapangan. Secara khusus, lahan kering terbagi menjadi dua kategori: iklim masam dan iklim kering. Kedua kategori ini memiliki luas yang sama dan potensi pengembangan yang besar. Tabel 1 menunjukkan luasan lahan kering yang dapat dikembangkan lebih baik ke depan. Lahan kering masam dikategorikan sebagai areal yang memiliki kemasa-man tanah sebagai faktor pembatas utamanya, sedangkan lahan kering iklim kering memiliki pembatas utama air (Rochayati dan Dariah, 2012; Dariah dan Heryani, 2014).

Tabel 1. Luas lahan kering yang dapat dikembangkan untuk sektor pertanian

Agroekosistem	Total luas lahan (ha)	Luas yang berpotensi untuk pertanian (ha)
Lahan kering masam	107.357.633	62.647.199
Lahan kering iklim kering	10.750.881	7.762.543

Sumber : Dariah dan Heryani (2014)

B. Pentingnya Pengelolaan Lahan Kering

Pengelolaan lahan yang berkelanjutan adalah upaya menjaga dan meningkatkan produktivitas lahan sambil melindungi lingkungan dan sumber daya alam lainnya. Ini merupakan langkah krusial dalam menghadapi tantangan global seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan krisis pangan. Namun demikian Upaya pengelolaannya perlu dilakukan dalam rangka menjamin ketersediaan pangan di masa yang datang. Beberapa alasan kenapa hal ini dirasa cukup penting antara lain:

1. **Ketahanan Pangan:** Menjamin ketersediaan pangan bagi generasi sekarang dan mendatang. Meningkatkan produktivitas lahan sehingga dapat memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat.
2. **Pelestarian Lingkungan:** Mencegah erosi, desertifikasi, dan penurunan kualitas air tanah. Melindungi keanekaragaman hayati. Mengurangi emisi gas rumah kaca dan mitigasi perubahan iklim.
3. **Peningkatan Ekonomi:** Meningkatkan pendapatan petani dan masyarakat sekitar. Mendorong pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan.
4. **Kualitas Hidup:** Menjamin ketersediaan air bersih dan udara bersih. Mencegah terjadinya bencana alam seperti banjir dan longsor.

Beberapa alasan penting dalam mengelola lahan kering di atas sangat rasional, namun ada beberapa hal yang menjadi tantangan dalam pengelolaan lahan kering adalah perubahan iklim yang semakin hari semakin meningkat. Hal ini terjadi karena curah hujan yang tidak menentu, kekeringan, serta banjir yang dapat menghambat upaya pengelolaan lahan kering. Di samping itu adanya tekanan penduduk akibat meningkatnya populasi sehingga permintaan lahan untuk pertanian juga meningkat, pemukiman serta

industri. Hal lain adalah kurangnya kesadaran masyarakat yang belum memahami pentingnya pengelolaan lahan kering yang berkelanjutan. Di samping itu terbatasnya sumber daya sehingga berpengaruh terhadap akses terhadap teknologi, informasi dan modal bagi Masyarakat kecil.

Tantangan pengelolaan di atas sebenarnya dapat dilakukan dengan beberapa cara antara lain: (a) Peningkatan kesadaran masyarakat melalui pendidikan dan penyuluhan. (b) Dukungan pemerintah melalui kebijakan yang mendukung pertanian berkelanjutan dan penyediaan insentif bagi petani. (c) Membangun kemitraan antara pemerintah, swasta, dan masyarakat. (d) Mengembangkan teknologi pertanian yang ramah lingkungan dan terjangkau.

C. Ciri Pertanian Lahan Kering

Pertanian lahan kering sering dikaitkan dengan bentuk kegiatan usaha tani yang diusahakan oleh petani. Kegiatannya selalu bergantung kepada sumber air hujan. Pada prinsipnya kegiatan budidaya pertanian lebih banyak diarahkan pada komoditas tanaman semusim dan tanaman perkebunan. Penggunaan lahan kering secara baik dan benar akan mampu meningkatkan produksi guna mendukung ketahanan pangan nasional. Namun tidak dipungkiri bahwa tipologi lahan kering yang diusahakan untuk tanaman pangan memiliki produktivitas yang rendah. Di beberapa wilayah di Indonesia, hal ini ikut memberi andil dalam masalah ekonomi masyarakat karena permasalahan biofisik dan tekanan penduduk. Beberapa pakar menguraikan beberapa ciri pertanian lahan kering yang sering digunakan sebagai ciri, diantaranya:

1. Wilayah yang memiliki curah hujan rendah
2. Ada di wilayah tropis
3. Mempunyai kadar air rendah
4. Kontur tanah cenderung tidak stabil dan rentan terhadap erosi

5. Tidak ada gurun pasir di Lokasi ini
6. Kontur tanahnya cenderung lembut dan tidak keras
7. Areal pertanian bukan lahan basah
8. Biasanya lahan tersebut digunakan untuk resapan air
9. Banyak dimanfaatkan untuk menanam tanaman perkebunan
10. Berjauhan dengan sumber air (misalnya sungai, danau dan saluran irigasi)
11. Lokasinya dekat dengan pemukiman penduduk
12. Adanya air bergantung dari besarnya curah hujan
13. Terdapat pada dataran tinggi maupun rendah
14. Ketinggian tempat antara 500 hingga 1500 m dpl

Minardi (2009), lahan kering dibagi menjadi tiga model iklim yaitu: (1) Iklim mediteran, hujan jatuh pada musim gugur dan dingin, (2) Iklim tropisme, yakni hujan terjadi pada musim panas, dan (3) iklim kontinental, hujan jatuh sepanjang tahun. Terdapat juga beberapa ciri pertanian lahan kering lainnya, antara lain:

1. Areal selalu dalam kondisi kering dan mengandalkan hujan untuk kegiatan budidaya tanaman, sedangkan hujan turun tidak menentu waktunya dengan intensitas yang sangat rendah
2. Umumnya berada di wilayah beriklim tropis
3. Ketersediaan air cukup terbatas karena tidak pernah atau jarang hujan
4. Biasanya sering terjadi longsor karena kontur tanah rata-rata relatif labil.
5. Meskipun tanahnya kering, namun tidak berarti tanahnya kering sampai pecah dan keras.
6. Sangat cocok jika ditanami tanaman perennial
7. Arealnya dekat dengan wilayah pemukiman penduduk
8. Bergantung pada hujan sebagai sumber air utama untuk budidaya tanaman
9. Tersebar dari dataran tinggi sampai dataran rendah

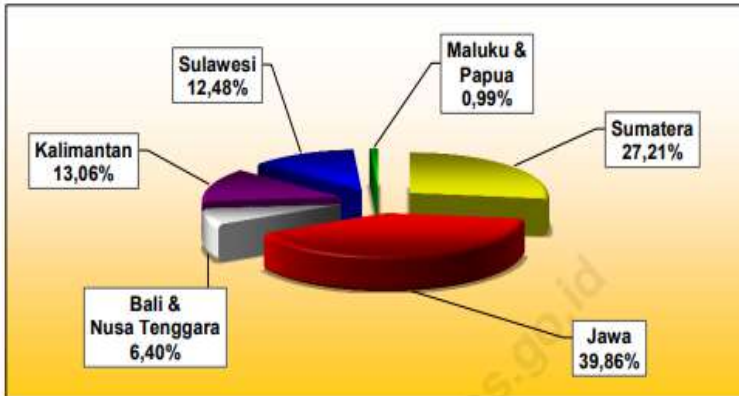
10. Ketinggian wilayah berkisar antara 500 - 1500 meter dpl
11. Biasanya kesuburan tanahnya cukup rendah
12. Kondisi topografinya datar dan sering erosi
13. Infrastrukturnya tertinggal dibandingkan lahan sawah
14. Sumber daya manusia terutama petani memiliki keterbatasan dalam penguasaan teknologi maupun sarana dan prasarana
15. Kualitas lahan sangat rendah karena teknologi kurang

Berdasarkan pendapat para ahli beberapa karakteristik budidaya di lahan kering diantaranya: (a) produktivitas tanah sangat rendah; (b) Komoditas budidaya rata-rata palawija (seperti jagung, padi ladang, ubi-ubian dan kacang-kacangan). Komoditas utama pertanian lahan kering adalah jagung, (c) *mixed cropping* biasanya diaplikasikan untuk mengantisipasi adanya gagal panen, (d) budidaya tanamannya biasanya *low input*; teknologi secara konvensional, (e) kepemilikan lahan dan tenaga kerja terbatas, dan (f) kegiatan yang dilakukan cenderung berpindah-pindah dengan tujuan mengembalikan kesuburan tanah (Notohadiprawiro, 1989).

POTENSI LAHAN DAN PERSEBARAN

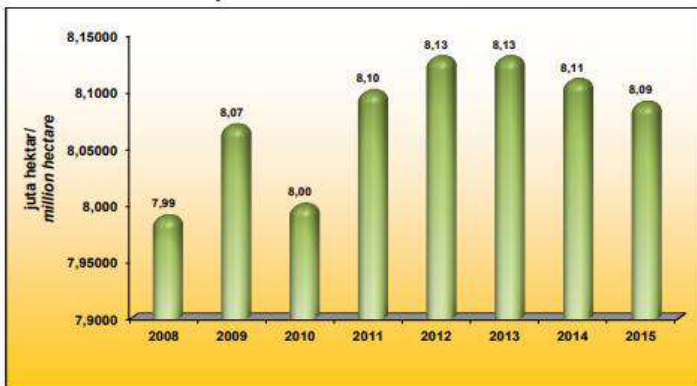
A. Potensi Lahan Sawah

Tantangan terbesar untuk mewujudkan ketahanan pangan nasional adalah ketersediaan lahan. Saat ini ketergantungan lahan untuk produksi pangan masih bertumpu pada lahan basah atau sawah, padahal luasnya lebih kecil dari luasan lahan kering. Luas lahan sawah berdasarkan luasan penggunaan yang dikeluarkan oleh Badan Pusat Statistik tahun 2015 hanya sekitar 8,09 juta ha. Persebaran pulaunya meliputi Jawa memiliki luas areal 3,22 juta hektare atau 39,86% dari total luas areal persawahan, sedangkan luar Jawa memiliki luas areal 4,86 juta hektare atau 60,14%. Luas areal persawahan terluas di Jawa terdapat di Provinsi Jawa Timur, yaitu seluas 1,09 juta hektare, sedangkan Provinsi Sulawesi Selatan memiliki luas areal persawahan 0,63 juta hektar (ha). Jika dilihat dari sisi kepulauan, Jawa dan Sumatera memiliki luas areal persawahan terluas, yaitu masing-masing sebesar 39,86% dan 27,21% dari total luas areal persawahan. Sementara itu, Maluku dan Papua memiliki luas areal persawahan terkecil, yaitu hanya sebesar 0,99% dari total luas areal persawahan. Sebaran luas lahan menurut pulau di Indonesia disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Sebaran luas lahan menurut pulau di Indonesia
 Sumber : Badan Pusat Statistik, (2015)

Mengingat luas areal persawahan yang relatif kecil, yakni sekitar 8,09 juta hektar, jika dibandingkan dengan jumlah penduduk Indonesia yang mencapai 270,2 juta jiwa menurut sensus penduduk tahun 2020, sangat tidak mungkin ketergantungan pangan kita hanya pada persawahan. Sementara itu, total luas areal persawahan telah menurun dari 8,13 juta hektar menjadi 8,09 juta hektar pada tahun 2015 selama tiga tahun terakhir. Gambar 2 menggambarkan pertumbuhan luas areal persawahan di Indonesia dari tahun 2008 hingga tahun 2015.



Gambar 2. Perkembangan luas lahan sawah di Indonesia
 Sumber : BPS, (2015)

B. Potensi Lahan Kering dan Sebaran

Ketergantungan kita terhadap lahan sawah sebagai penopang utama ketahanan pangan nasional, sudah saatnya dialihkan ke lahan kering. Fakta menunjukkan bahwa alih fungsi lahan terutama lahan sawah terutama di pulau Jawa terus meningkat. Hal ini terlihat dari trend menurunnya luas lahan sawah dari tahun ke tahun, otomatis akan mempengaruhi produksi pangan nasional. Lahan kering memiliki potensi besar untuk pengembangan pertanian, karena dapat dikembangkan untuk memenuhi berbagai kebutuhan pangan nasional.

Pengembangan lahan pertanian dari total lahan pertanian di Indonesia seluas 44,95 juta hektar, terdiri dari lahan sawah (baik irigasi maupun non-irigasi), tegalan/kebun, ladang, dan lahan marginal yang belum dimanfaatkan (BPS, 2017). Data luas lahan pertanian disajikan pada tabel 2.

Tabel 2. Data luas lahan pertanian di Indonesia

No	Jenis Lahan	Tahun (ha)				
		2012	2013	2014	2015	2016
1	Sawah	8.132.345,91	8.128.499	8.111.593	8.092.906,80	8.186.469,65
	a.Sawah irigasi	4.417.581,92	4.817.170	4.763.341	4.755.054,10	4.781.494,65
	b. Sawah Non Irigasi	3.714.763,99	3.311.329	3.348.252	3.337.852,70	3.404.975,00
2	Tegal/Kebun	11.947.956,00	11.838.770	12.033.776	11.861.675,90	11.546.655,70
3	Ladang/Huma	5.262.030,00	5.123.625	5.036.409	5.190.378,40	5.073.457,40
4	Lahan Sementara Tidak Digunakan	14.245.408,00	14.162.875	11.713.317	12.340.270,20	11.957.735,70

Sumber : Badan Pusat Statistik (2017)

Antara tahun 2012 sampai 2016, luas areal sawah terjadi peningkatan 1,18%, sedangkan lahan tegal dan ladang yang sebagian besar merupakan lahan kering mengalami penurunan luasan masing-masing (-2,65 dan -2,25). Namun demikian dilihat dari total jumlah luasan lahan tegal dan ladang yang nota bene adalah lahan

kering maka luasannya mencapai 16,62 juta ha. Jumlah ini masih jauh lebih besar dari lahan sawah dan merupakan potensi untuk pengembangan areal pertanian.

Menurut Abdurachman (2008), Lahan kering dengan sifat agro-ekosistem yang beragam berpotensi untuk dimanfaatkan untuk usaha pertanian, meliputi tanaman pangan, hortikultura, tanaman semusim, dan ternak sapi. Indonesia memiliki luas wilayah daratan sebesar 188,20 juta hektar, dengan luas lahan kering lebih dari 148 juta hektar (78%) dan lahan basah 40,20 juta hektar (22%). Luas wilayah yang sesuai untuk pertanian kurang lebih 76,22 juta hektar atau 52%. Sekitar 70,71 juta hektar (93%) berada di dataran rendah, sedangkan sisanya berada di dataran tinggi.

Menurut Abdurachman et al., (2008) areal dataran rendah memiliki karakteristik lahan datar bergelombang (kemiringan kurang dari 15%). Areal yang cocok untuk tanaman pangan memiliki luas sekitar 23,26 juta hektar. Sekitar 47,45 juta hektar lahan lebih cocok untuk menanam tanaman semusim dengan kemiringan berkisar antara 15-30%. Pada areal dataran tinggi luas lahan yang sesuai untuk tanaman pangan \pm 2,07 juta hektar, sedangkan pada tanaman semusim \pm 3,44 juta hektar (Tabel 1). Lahan yang berpotensi untuk pertanian adalah lahan yang memenuhi kriteria biofisik, terutama yang berkaitan dengan iklim, kemiringan, topografi, dan karakteristik fisik dan kimia tanah, dan sesuai untuk pengembangan pertanian. Hal ini menunjukkan bahwa lahan memiliki kondisi teknis dan agronomis yang diperlukan untuk pertumbuhan optimal tanaman. Namun, faktor sosial ekonomi dan kepemilikan lahan tidak diperhitungkan dalam rencana lahan. Oleh karena itu, lahan prospektif dapat mencakup lahan pertanian basah seperti sawah, lahan kering yang telah diolah, atau bagian dari hutan produksi atau hutan konversi. Empat kelompok komoditas utama termasuk tanaman pertanian lahan kering: tanaman pangan, tanaman sayuran dataran

tinggi, tanaman semusim (termasuk buah-buahan) dan hewan penggembalaan.

Secara keseluruhan sekitar 91,53 juta (63,42%) dari total 144,31 juta ha merupakan lahan kering. Angka di atas merupakan hasil analisis kondisi biofisik tanah. Terdapat kurang lebih 36,70% atau sekitar 33,60 juta ha cocok untuk budidaya tanaman pangan, terdapat 1,09 juta ha atau sekitar 1,19% yang cocok untuk sayuran pada wilayah dataran tinggi. Potensi lain peruntukan tanaman tahunan termasuk buah-buahan serta padang penggembalaan masing-masing sekitar 53,59 juta ha (58,55%) dan 3,26 juta ha (3,56%). Rincian luasan lahan kering potensial berdasarkan urutan terluas adalah Pulau Kalimantan yang menempati urutan pertama dengan total luasan 30,48 juta hektar, disusul Pulau Sumatera 20,19 juta hektar. Urutan ketiga adalah Pulau Papua seluas 13,35 juta hektar serta Pulau Sulawesi 9,36 juta hektar. Sedangkan Pulau Jawa, Pulau Maluku serta Bali + Nusa Tenggara masing-masing berada pada urutan paling kecil masing-masing 8,79 hektar; 5,08 hektar serta 4,29 hektar (Tabel 3).

Secara umum diakui bahwa pemanfaatan lahan kering untuk kegiatan pertanian sering menjadi prioritas kedua setelah lahan sawah. Hal ini dikarenakan potensi yang lebih besar serta kemudahan dalam bercocok tanam padi di lahan sawah dibandingkan dengan lahan kering. Alasan lain mengelola lahan sawah lebih potensial menghasilkan dibanding lahan kering yang dihadapkan dengan berbagai kendala. Dibandingkan kedua jenis lahan tersebut, luas lahan kering jauh lebih besar dibandingkan dengan luas lahan persawahan. Luas lahan persawahan mencapai 8,09 hektar (BPS, 2015), sedangkan luas gabungan lahan kering/kebun, ladang, dan lahan sementara yang tidak dimanfaatkan, terutama lahan kering, mencapai 44,95 juta hektar (BPS, 2017). Berdasarkan luas panen pada lahan kering komoditas jagung misalnya 60 persen produksi berasal dari lahan kering sedangkan 40 persen sisanya dari sawah

(Mulyani dan Hidayat, 2009). Begitu juga ubi kayu yang mencapai produksi antara 20 - 40 ton/ha sebagian besar ditanam di lahan kering. Hal ini menunjukkan bahwa peluang pengembangan tanaman pangan di lahan kering juga efektif.

Tabel 3. Potensi lahan masing-masing Pulau di Indonesia

Pulau	Potensi Lahan				Total
	TP	TS	TT	PT	
Sumatera	14.999.724	39.573	5.152.707	0	20.192.005
Jawa	1.909.124	1.008.677	5.868.687	0	8.786.488
Bali & Nusa Tenggara	1.139.258	44.534	2.515.790	586.386	4.285.967
Kalimantan	7.333.249	0	22.940.823	206.452	30.480.524
Sulawesi	1.886.165	24.416	5.615.427	1.835.231	9.361.239
Maluku	824.533	5.194	3.689.135	560.256	5.079.118
Papua	5.468.840	0	7.808.768	67.434	13.345.042
Indonesia	33.595.147	1.088.140	53.591.337	3.255.759	91.530.383
Potensi Lahan (%)	36,70	1,19	58,55	3,56	100,00
Lahan Kering (%)	23,28	0,759	37,16	2,26	63,42

Keterangan: TP = Tanaman pangan, TS = Tanaman sayuran dataran tinggi, TT = Tanaman tahunan termasuk buah-buahan, dan PT = Padang penggembalaan ternak

Sumber: Las (2014)

Adanya kondisi agroekosistem yang khas pada lahan kering di beberapa daerah di Indonesia memerlukan pengembangan perbaikan teknis yang lebih sesuai. Secara khusus, lahan kering di NTB dan NTT memiliki Indeks Pertanaman (IP) masing-masing sebesar 73 dan 45. Daerah NTT dan NTB dikategorikan sebagai lahan kering dengan kondisi iklim kering, yang memiliki lebih banyak kendala daripada lahan kering beriklim basah. Kendala yang dihadapi meliputi faktor lingkungan budidaya (seperti tanah, iklim, dan air) serta faktor sosial budaya (berkaitan dengan praktik pertanian). Lahan kering beriklim kering memiliki karakteristik adanya beberapa faktor pembatas. Kendala-kendala tersebut antara lain: (a) terbatasnya ketersediaan air karena CH rendah (kurang dari 2000 mm per tahun,

dengan panjangnya bulan kering antara 7-8 bulan), (b) didominasi oleh daerah perbukitan dan pegunungan dengan kemiringan lereng berkisar 15-40% dan beberapa daerah melebihi 40%, (c) banyaknya tanah dangkal dan berbatu, (d) kurangnya infrastruktur, (e) terbatasnya ketersediaan tenaga kerja, dan (f) masih maraknya kegiatan menggembalakan ternak di lahan pertanian pada musim kemarau yang menghambat peningkatan indeks tanam (Matheus et al., 2017).

PERMASALAHAN LAHAN KERING

Potensi lahan kering yang kita miliki saat ini telah dimanfaatkan untuk mendukung pembangunan dibidang pertanian. Namun demikian dihadapkan dengan berbagai kendala dan permasalahan baik biofisik, sosial ekonomi maupun ketersediaan air. Pada kondisi tertentu permasalahan biofisik masih bisa diminimalisir dengan inovasi teknologi yang tepat. Namun pada wilayah tertentu penerapan teknologi masih belum efektif karena sangat mahal. Permasalahan lain yang dihadapi adalah koordinasi berbagai pihak masih bersifat parsial, sehingga diperlukan pemecahan secara holistik. Usaha untuk menjaga dan melindungi sumber daya lahan terutama di lahan kering sangat penting dilakukan. Hal ini disebabkan oleh kerentanannya terhadap berbagai penggunaan, menyebabkan degradasi lahan mengalami peningkatan setiap saat. Utomo dan Wisnubroto (2007), degradasi lahan sangat kompleks, bukan karena teknis penanganannya tetapi hal yang ikut berperan di dalamnya adalah masalah sosial ekonomi dan kebiasaan petani dalam mengambil keputusan untuk pengelolaan.

Murti Laksono dan Anwar (2013) membahas beberapa masalah umum yang dihadapi oleh berbagai jenis lokasi lahan kering, yaitu (a) Lahan kering dengan iklim asam adalah lahan dengan tanah kering yang memiliki pH di bawah 5, saturasi basa di bawah 50% (distrik), tekstur lempung, kandungan aluminium tinggi, dan rezim kelembaban tanah dataran tinggi yang melampaui 2.000 mm per tahun. Jenis tanah ini adalah Ultisols, Oxisols, dan Inceptisols. Disebabkan oleh pencucian yang berlebihan dan tingkat bahan organik dan nutrisi yang tidak memadai, lahan kering asam ini

menghadapi masalah seperti kesuburan dan penurunan hasil. Selain itu, kandungan aluminiumnya yang tinggi membuatnya sangat toksik. (b) Lahan kering dengan iklim kering adalah lahan dengan rezim kelembaban ustik, curah hujan tahunan kurang dari 2000 mm, dan bulan kering lebih dari 7 bulan ($CH < 100$ mm/bulan).

Secara alami, tanah yang memiliki pH berkisar antara netral dan basa lebih subur daripada tanah kering iklim masam. Beberapa jenis tanah subur tersebut adalah Alfisols, Mollisols, Entisols, dan Vertisols. Curah hujan yang tidak mencukupi mengakibatkan terbatasnya jenis tanaman dan variabel pertanaman (Mulyani dan Swarwani, 2013). Secara rinci beberapa permasalahan yang terjadi di lahan kering yang sering dijumpai antara lain:

A. Topografi

Indonesia memiliki sebaran lahan kering sebagian besar berada pada wilayah perbukitan dengan kemiringan lebih dari 30%, luasnya sekitar 51,3 juta ha. Idealnya lahan dengan topografi seperti ini perlu dipertahankan sebagai areal hutan. Fakta di lapangan, lahan dengan kemiringan $> 30\%$ masih digunakan sebagai areal pertanian tanaman pangan. Dalam kaidah konservasi penggunaan lahan pertanian tanaman pangan idealnya pada kemiringan $< 15\%$. Penyebaran bentuk wilayah di Indonesia disajikan pada tabel 4. Lebih ideal lagi jika mengusahakan lahan secara monokultur dilakukan pada kemiringan $< 8\%$. Untuk menanam tanaman semusim, kemiringan antara 15% dan 30% cukup. Namun, perlu diingat bahwa, meskipun sulit diperoleh, lahan dengan kemiringan di bawah 30% cukup luas. Lahan tersebut sering dialihfungsikan atau diubah fungsinya untuk tujuan baru karena lokasinya di hutan. Fenomena ini memaksa penanaman komoditas pertanian dengan kemiringan hingga 40% (Dariah dan Las, 2010). Tidak bisa dipungkiri, saat ini untuk mendapatkan lahan dengan kemiringan $< 15\%$ sudah sulit didapatkan, karena banyak telah digunakan sebagai lahan perkebunan. Sebagian besar lahan

digunakan dalam bentuk wilayah datar sampai bergelombang untuk perkebunan karet, kelapa sawit, kelapa dalam, dan komoditas lainnya (Hidayat dan Mulyani, 2004).

Tabel 4. Sebaran Topografi pada Berbagai Pulau di Indonesia

Pulau	Datar (<3%)	Datar-berombak (3-8%)	Berombak-bergelombang (8-15%)	Berbukit (15-30%)	Bergunung (>30%)
	----- luas(ribu ha)				
Sumatera	13.516	6.611	10.244	6.758	9.680
Jawa	2.430	1.433	3.017	5.239	1.059
Nusa Tenggara	430	857	714	1.961	3.206
Kalimantan	10.045	15.900	6.427	7.702	12.444
Sulawesi	2.778	388	1.087	5.708	8.624
Maluku dan Papua	13.359	6.288	2.791	9.505	16.294
Total	42.568	31.477	24.290	36.871	51.307
Persentase (%)	22,6	16,7	12,9	19,6	27,3

Sumber : Subagyo *et al.*, (2000) ; Darial dan Las, (2010)

B. Kesuburan Tanah

Lahan kering biasanya tidak subur, sehingga kekurangan nutrisi lengkap untuk tanaman. Lahan kering umumnya memiliki ciri-ciri pH tanah bersifat asam, yang didominasi oleh Inceptisol, Ultisol, dan Oxisol. Tanah dengan pH rendah sering mengandung kadar aluminium yang tinggi, fiksasi fosfat yang besar, yang menyebabkan tidak ada nutrisi yang tersedia untuk tanaman, kurangnya basa yang dapat dipertukarkan, dan kapasitas tukar kation yang rendah. Tidak adanya komponen biotik, serta kadar zat besi dan mangan yang hampir berbahaya. Salah satu masalah lain di daerah kering adalah jumlah bahan organik yang rendah. Sebagian besar lahan yang digunakan untuk perkebunan karet, kelapa sawit, kelapa, dan komoditas lainnya terletak di dataran datar hingga bergelombang (Hidayat dan Mulyani, 2004).

Tabel 5. Karakteristik Kimia Tanah Ultisols dan Oxisols di Indonesia

Propinsi	pH H ₂ O	Al-dd (me/100g)	Kejenuhan (Al (%))	Ca-dd (Me/100g soil)	KTK	C-organik (%)	P-Bray1 (ppm)
Aceh	5,19	2,50	28,4	4,32	9,00	1,63	10,6
Sumatera Utara	5,22	0,94	20,7	1,87	4,09	1,56	11,1
Sumatera Barat	4,66	2,89	44,9	2,75	7,23	4,05	8,2
Riau	4,69	5,46	50,4	2,96	10,18	2,12	9,0
Jambi	4,48	3,37	60,1	1,17	5,75	1,77	9,3
Bengkulu	4,71	2,44	47,0	1,08	4,63	2,64	3,8
Sumatera Selatan	4,65	2,02	50,9	1,41	4,33	1,58	6,9
Lampung	4,74	1,43	42,1	1,03	3,21	1,48	7,3
Java Barat	5,29	2,19	13,4	6,90	13,52	1,34	4,3
Kalimantan Barat	4,27	6,48	75,0	0,71	8,49	2,29	17,1
Kalimantan Tengah	4,56	3,29	61,7	0,82	5,00	2,05	8,4
Kalimantan Timur	4,44	5,33	59,3	2,53	9,72	1,49	29,6
Kalimantan Selatan	4,77	3,84	57,8	1,46	6,27	1,44	5,5
Sulawesi Tengah	5,15	6,95	45,9	2,67	11,95	2,42	36,7
Sulawesi Selatan	5,21	1,22	27,7	4,66	8,06	2,09	33,5
Sulawesi Tenggara	5,30	1,27	26,7	3,45	6,89	1,16	10,8

Sumber: Santoso (1991)

Penggunaan lahan kering secara intensif akan mengurangi jumlah bahan organik di dalam tanah dengan cepat, terutama di wilayah tropis. Bahan organik memiliki kualitas fisik, kimia, dan biologi yang lebih baik, sehingga diperkirakan akan hilang antara 30 dan 60 persen dalam sepuluh tahun, menurut Lugo dan Brown (1990). Menurut Suriadikarta et al. (2002), unsur hara makro seperti N, P, dan K hanyalah sebagian kecil dari hara total, tetapi fungsinya sebagai sumber unsur hara penting seperti C, Seng, Cu, Mo, Ca, Mg, dan Si sangat penting.

C. Ketersediaan Air

Salah satu kendala utama dalam mengembangkan lahan kering adalah ketersediaan air. Secara umum, curah hujan memengaruhi kebutuhan air. Menurut faktor iklim, daerah lahan kering dikate-

gorikan menjadi iklim basah dan iklim kering. Dataran rendah beriklim kering pada ketinggian 700 meter di atas permukaan laut memiliki iklim basah dengan curah hujan yang tinggi (lebih dari 1500 mm per tahun) dan musim hujan yang relatif panjang. Curah hujan tahunan relatif rendah (kurang dari 1500 mm) dan periode curah hujan yang singkat (kurang dari 3,5 bulan) adalah tanda iklim kering. Curah hujan tahunan di lahan kering beriklim basah cukup tinggi (lebih dari 1.500 mm/tahun), tetapi tidak konsisten atau berubah sepanjang tahun. Pemanasan global memperburuk perubahan iklim saat ini dengan meningkatkan ketidakpastian dan variabilitas lingkungan yang tinggi. Perubahan iklim akan mempengaruhi pergeseran dan perubahan pola curah hujan. Selain itu, fenomena ini akan meningkatkan terjadinya ekstrem iklim seperti El-Nino dan La-Nina. Tingkat curah hujan yang tinggi sangat berkontribusi pada kejadian ini (Las et al., 2007).

Produksi pertanian sangat terhambat oleh kekurangan air (*water scarcity*), terutama di wilayah dengan iklim kering. Sebagian besar daerah di Indonesia masih bergantung pada curah hujan sebagai sumber air mereka. Gambar 3 di bawah ini menunjukkan area kering yang menghadapi masalah penyediaan air.



Gambar 3. Gambaran kondisi lahan kering

D. Degradasi Lahan

Penurunan produktivitas fisik, kimia, dan biologi lahan secara bertahap disebut degradasi lahan. Lahan yang mengalami penurunan ketiga kualitas tersebut diklasifikasikan sebagai lahan kritis. Penurunan kualitas lahan mengacu pada penurunan produktivitas lahan secara sementara atau permanen. Degradasi tanah juga menyebabkan lahan yang tidak produktif, yang terkadang disebut sebagai lahan kritis. Degradasi lahan kering di Indonesia berkisar antara 10% hingga 20%. Penggunaan lahan yang tidak mengikuti pedoman konservasi merupakan penyebab utama degradasi lahan ini. Akibatnya terjadilah erosi ketika ada ketidakseimbangan antara jumlah *input* dan *output*. Kejadian lain yang terjadi adalah pencucian nutrisi terutama bahan organik yang berfungsi sebagai penyangga (*buffer*).

E. Kendala Sosial Ekonomi

Seiring berjalannya waktu, luas lahan yang dimiliki petani semakin mengecil, yang merupakan salah satu tantangan sosial ekonomi yang timbul di wilayah kering. Data Sensus Pertanian (2018) menunjukkan bahwa luas lahan petani telah menurun drastis dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Bukti empiris menunjukkan bahwa, selama sepuluh tahun terakhir, kepemilikan lahan rata-rata per rumah tangga petani telah turun dari 0,86 menjadi 0,73 hektar, dengan luas lahan yang sempit—kurang dari 0,5 hektar—dikombinasikan dengan kualitas lahan yang buruk dan ketersediaan lahan yang terbatas. Penerapan teknologi yang kurang memadai akan berdampak buruk pada pendapatan petani di lahan kering. Upaya untuk meningkatkan produksi lahan dengan intensifikasi pertanian di lahan kering masih lebih tertinggal dibandingkan dengan berkembangnya pertanian pada lahan sawah. Sumber daya manusia petani yang masih belum berkembang mengakibatkan keterbatasan akses kepada sumber daya keuangan dan kemajuan

teknologi. Akibatnya, mengatasi kemiskinan dan kesejahteraan menjadi sangat sulit.

TEKNOLOGI PENGELOLAAN LAHAN KERING

Pemanfaatan sebanyak mungkin beberapa jenis lahan kering seperti lahan kering iklim masam maupun lahan kering iklim kering hendaknya dilakukan. Dalam artian, pemanfaatannya harus mendapatkan keuntungan ekonomi dengan tetap menjaga produktivitas tanah. Di bawah ini beberapa Perbaikan teknologi lahan kering yang sering dilakukan:

A. Konservasi Tanah

Lebih dari 45% dari 148 juta hektare lahan kering Indonesia adalah perbukitan dengan lereng yang sangat erosif, dengan hulu sungai mengalirkan udara melalui celah lereng dan ke wilayah daratan yang lebih rendah. Untuk mencegah kerusakan yang berdampak pada kerusakan lahan, kesuburan tanah dalam kondisi topografi seperti ini harus dijaga melalui intervensi teknologi dan konservasi udara. Salah satu cara untuk membangun sistem pertanian berkelanjutan adalah dengan menerapkan teknik konservasi di lahan miring. Untuk meningkatkan fungsi lahan, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2014 tentang Konservasi Tanah dan Air menetapkan garis besar tegas tentang upaya konservasi dan metode yang dapat digunakan.

Berkaitan dengan fungsi tanah pada lahan, pada pasal 24 Undang-Undang tersebut mengisyaratkan sebagai berikut : (1) Peningkatan Fungsi Tanah pada Lahan Kritis dan Lahan Rusak di Kawasan Lindung dan Kawasan Budi Daya yang sudah dipulihkan dilaksanakan dengan metode: a. vegetatif; b. agronomi; dan/atau

c. sipil teknis pembuatan bangunan Konservasi Tanah dan Air. (2) Metode vegetatif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a merupakan penanaman tanaman Konservasi Tanah dan Air dapat berupa: a. kayu-kayuan; b. perdu; c. rumput-rumputan; dan/atau d. tanaman penutup tanah lainnya. (3) Metode agronomi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b dapat berupa kegiatan: a. pemberian mulsa; b. pengaturan pola tanam; c. pemberian amelioran; d. pengayaan tanaman; e. pengolahan tanah konservasi; f. Penanaman mengikuti kontur; g. pemupukan; h. pemanenan; dan/atau i. kegiatan lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan. (4) Metode sipil teknis pembuatan bangunan Konservasi Tanah dan Air dapat berupa: a. sengkedan; b. teras guludan; c. teras bangku; d. pengendali jurang; e. sumur resapan; f. kolam retensi; g. dam pengendali; h. dam penahan; i. saluran buntu atau rorak; j. saluran pembuangan air; k. terjunan air; dan/atau l. beronjong.

Bencana alam seperti tanah longsor dan erosi disebabkan utama oleh faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam utama termasuk iklim, bahan induk, lereng, elevasi, dan sifat tanah. Pengaruh antropogenik adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan semua aktivitas manusia yang dapat menyebabkan tanah longsor dan erosi. Untuk menanggulangi tanah longsor, sangat disarankan untuk menggunakan tanaman dengan perakaran yang dalam. Tanaman dengan akar yang dalam dapat merembes ke lapisan paling dalam. Menghindari konsentrasi air di permukaan, terutama di bidang luncur, adalah tujuan pengendalian tanah longsor dengan pendekatan ini. Kemiri, cengkeh, pala, kayu manis, sonokeling, petai, jengkol, alpukat, kopi, akar wangi, lengkung, dan tanaman lainnya dapat digunakan sebagai tanaman pengendali longsor (Kementan Pertanian, 2006). Arsyad (2000) menyatakan bahwa dua metode konservasi—mekanis dan vegetatif—sangat efektif untuk mengontrol erosi. Konservasi mekanis adalah proses penanganan fisik dan pembangunan struktur pengendalian erosi dengan

tujuan mengatur aliran permukaan (*run off*) dan meningkatkan kesuburan tanah. Selain pengendalian erosi vegetatif, tindakan konservasi tanah mekanis juga mencakup penanaman vegetasi di antara struktur pengendalian erosi.

Misalnya penggunaan tanaman dengan sistem akar masif sebagai Tindakan konservasi tanah secara mekanis seperti akar wangi, dapat digunakan untuk penguat teras dan pengendalian erosi secara vegetatif. Jenis rumput dengan akar masif dan pohon jenis polong-polongan juga berfungsi dengan baik sebagai penguat teras. Manfaat utama dari metode konservasi tanah terutama pada lahan miring adalah memperlambat aliran permukaan dan mempercepat infiltrasi. Konservasi tanah juga berfungsi sekaligus menjadi konservasi air bertujuan untuk memperlambat penurunan hasil pertanian, terutama di lahan kering.

B. Perbaikan Kesuburan Tanah

Bahan pembenah tanah dapat digunakan untuk meningkatkan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Selain itu, pemberian pupuk yang seimbang sesuai dengan dosis rekomendasi untuk kegiatan budidaya dapat mencapai hasil panen yang diharapkan. Banyak penelitian telah dilakukan tentang penggunaan bahan pembenah tanah dan aplikasi pupuk untuk memperbaiki tanah. Produksi pertanian, termasuk perkebunan dan tanaman pangan dengan penambahan pembenah tanah dan pupuk organik pada lahan kering iklim masam dan lahan kering iklim kering diharapkan dapat meningkat.

Solusi yang sering ditemukan pada lahan kering yang memiliki sedikit bahan organik yaitu dengan penambahan bahan organik. Bahan organik merupakan komponen penyubur tanaman di daerah tropika basah seperti Indonesia yang memiliki suhu udara dan curah hujan yang tinggi. Adapun beberapa jenis bahan organik yang dapat diberikan yaitu serasah, kompos, pupuk organik, atau

pupuk bioorganik untuk meningkatkan produksi tanaman. Jika tidak cukup bahan organik dalam tanah, curah hujan dan suhu udara tinggi membuat tanah lebih mudah hancur dan terbawa oleh aliran permukaan, menyebabkan desertifikasi (perubahan menjadi padang pasir).

Kegiatan pertanian yang mengabaikan prinsip konservasi adalah penyebab lain degradasi lahan. Meningkatkan kesuburan tanah dapat dicapai dengan mengembalikan sisa pertanian sebagai sumber bahan organik. Untuk menjaga kesuburan tanah, bahan organik sangat penting. Selain membantu mikroorganisme tanah berkembang, bahan organik meningkatkan struktur tanah, daya ikat udara, dan porositas. Selain itu, pertumbuhan tanaman akan terhambat oleh kurangnya bahan organik dalam tanah. Untuk mempertahankan kesuburan tanah, pupuk organik harus ditambahkan. Pupuk organik dibuat melalui pemecahan bahan organik atau proses pemecahan molekul kompleks menjadi molekul yang lebih sederhana dengan bantuan mikroba tanah. Dengan kata lain, bahan organik tanah adalah rahasia kesuburan dan produksi tanah. Bahan organik yang tersisa harus dikembalikan untuk menjaga produktivitas lahan pertanian. Lahan pertanian yang produktif selalu memungkinkan tanaman mencapai tingkat produktivitas maksimum.

Salah satu bahan ameliorant yang saat ini menjadi perhatian banyak peneliti untuk memperbaiki kualitas tanah adalah biochar. Biochar merupakan bahan amandemen tanah yang diproduksi secara pirolisis (oksigen terbatas). Karbon yang terdapat di dalam biochar stabil sehingga sangat mendukung produktivitas yang keberlanjutan. Sudah banyak penelitian tentang biochar sebagai alternatif perbaikan tanah termasuk pada lahan kering. Rawat *et al* (2019), menggunakan biochar untuk melihat interaksi antara tanah, air dan tanaman yang berpengaruh terhadap fotosintesis, dan hasil yang diperoleh cukup signifikan.

Widowati et al. (2020) menggunakan biochar untuk meningkatkan bahan organik dan sifat fisik tanah. Penggunaan biochar untuk mengolah tanah yang terkontaminasi dan memperbaiki tanah lainnya, termasuk tanah kering, dapat meningkatkan hasil panen jagung pada musim tanam kedua dengan mengombinasikan biochar dengan kalium untuk meningkatkan ketersediaan unsur hara N, P, K, Ca, dan Na dalam tanah (Widowati et al, 2017). Biochar selain dapat berfungsi untuk perbaikan tanah pada lahan kering juga dapat berfungsi meremediasi tanah tercemar di lahan kering. Hamzah et al. (2012) menemukan bahwa penggabungan biochar dengan ferrosulfat, atau FeSO_4 , dapat meningkatkan tailing limbah tambang emas dari proses amalgamasi.

Indonesia memiliki pasar yang cukup besar untuk biochar karena bahan baku seperti kulit buah kakao, sekam padi, tempurung kelapa, dan limbah kayu tersedia di sana. Biochar dapat dibuat dari 16,3-28% sekam padi yang dihasilkan selama proses penggilingan. Mengingat luas perkebunan kelapa yang mencakup 3,7 juta hektar dan menyediakan 3 juta ton setara kopra, tempurung kelapa (sekitar 15-19% dari satu kelapa), memiliki potensi yang signifikan selain sekam padi. Selain itu, sekitar 1,09 juta hektar perkebunan kakao menghasilkan 830.000 ton kulit buah kering per tahun (Ditjen Bina Produksi, 2007). Sejauh ini, limbah pertanian ini belum digunakan sepenuhnya. Karena limbah pertanian tidak cepat hilang melalui dekomposisi, biochar dapat meningkatkan produktivitas lahan, tertahan lebih lama di dalam tanah, dan membantu mengurangi emisi.

Nurida et al., (2013), Penambahan biochar pada tanah-tanah pertanian berfungsi untuk: (1) menambah ketersediaan hara, (2) menambah retensi hara, dan (3) menambah retensi air, 4) menciptakan habitat yang baik untuk mikroorganisme simbiotik, 5) meningkatkan produksi tanaman pangan (Jones et al. 2012; Haefele et al. 2011), dan 6) mengurangi laju emisi CO_2 , berkontribusi terhadap

cadangan karbon (52,8%). Hal ini menunjukkan bahwa biochar dapat menyimpan banyak karbon untuk waktu yang lama (Ogawa et al. 2006). Ketika digunakan pada tanah yang asam (Jeffery et al. 2001; Atkinson et al. 2010; Spokas et al. 2012), biochar meningkatkan sifat tanah dan produktivitas tanaman (Jones et al. 2012; Blackwell et al. 2010). Namun, tanah dengan pH netral di wilayah Mid-West Amerika Serikat tidak terpengaruh oleh penggunaan biochar (Gaskin et al. 2010).

C. Pengelolaan Air Pertanian Lahan Kering

Kegagalan untuk mengelola lahan kering dengan baik sering kali disebabkan oleh kekurangan air. Upaya teknologi dalam manajemen air dan iklim perlu memikirkan pendekatan baru yang dapat dilakukan untuk pemanenan air (baik air hujan, air embun, dan air lainnya) (*Water harvesting*), pengairan tambahan, prakiraan iklim dan musim serta pola tanam. Aliran permukaan atau curah hujan dapat dikumpulkan dan disimpan dalam waduk permanen atau sementara untuk memanen air yang kemudian dialirkan ke petak pertanaman (Subagyono et al., 2004). Dengan demikian, *water harvesting* bermanfaat sebagai tempat penampungan air selama kemarau dan meminimalisir adanya peluapan air selama musim penghujan. Sistem pemanenan air berfungsi dengan baik di lingkungan yang tidak memiliki sumber air tanah atau sistem irigasi. Di daerah kering dan semi-kering, banyak teknik modifikasi relief mikro digunakan, seperti tanggul setengah bulan, rorak, beberapa sistem gulud, dan lainnya.

Bendungan, parit, embung juga telah muncul di berbagai wilayah Indonesia untuk mengumpulkan air. Untuk memastikan nilai ekonomis dari fasilitas pemanenan air seperti waduk, juga penting untuk melakukan analisis menyeluruh tentang keuntungan dan kerugian. "Irigasi tambahan" mengacu pada penggunaan dan distribusi air di lahan kering. Istilah ini mencakup dua aspek penting:

kuantitas air yang diberikan dan waktu atau interval penggunaan. Kebutuhan air tanaman, kapasitas tanah untuk menahan air, dan aksesibilitas infrastruktur irigasi adalah semua faktor yang mempengaruhi jumlah air yang diberikan. Sistem irigasi tambahan mencakup 1) irigasi-permukaan, 2) irigasi-bawah permukaan, 3) irigasi-sprinkler, 4) irigasi drip/tetes, serta 5) sistem hibrida yang menggabungkan dua atau lebih sistem. Fasilitas irigasi memungkinkan pemberian air yang tepat. Untuk irigasi tetes atau sprinkler, pemupukan dan air dapat digunakan bersama.



Gambar 4. Model embung untuk menampung air hujan dan dipanen pada saat musim kemarau

Untuk mengoptimalkan penggunaan air saat membuat jadwal irigasi tambahan untuk jenis tanaman tertentu, teori efisiensi penggunaan air dengan *management allowable depletion* atau *maximum allowable depletion* (MAD) dimanfaatkan untuk mengoptimalkan penggunaan air saat membuat jadwal irigasi tambahan untuk jenis tanaman tertentu. MAD adalah tingkat kekeringan tinggi tanah yang dapat diijinkan untuk mendapatkan tingkat hasil terbaik. Menurut kadar air tersedia MAD sebesar 60% untuk tanaman cabai di tanah Tipik Kanhapludults di Lampung dan 75% untuk tanaman jagung di tanah lempung berpasir di Zeebrugge, Belgia (Subagyono, 1996 & Sutono et al, 2006).



Gambar 5. Irigasi sprinkel dan irigasi tetes (praktek mahasiswa FP Unitri di Kebun Percobaan UNITRI)

D. Rehabilitasi Lahan

Hilangnya produktivitas lahan kering disebabkan oleh erosi, khususnya pada lahan yang digunakan untuk pertanian semusim, seperti tanaman pangan, tanpa tindakan konservasi (Abdurachman dan Sutono, 2005). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika tanaman pangan semusim ditanam tanpa konservasi tanah, erosi dapat berkisar antara 46 - 351 t/ha per tahun. Selain memindahkan tanah, erosi membawa nutrisi dan bahan organik, baik yang ada di dalam tanah maupun sebagai *input* untuk pertanian. Menurut Santoso et al. (2004), untuk mengurangi erosi secara efektif dan meningkatkan adopsi petani, tindakan konservasi mekanis harus dikombinasikan dengan strategi vegetatif.

Merancang pola tanam sehingga vegetasi, sisa tanaman, atau serasah selalu menutupi tanah adalah bagian penting dari konservasi tanah. Pada tanah kering, mengatur rasio tanaman semusim terhadap tanaman tahunan sangat penting; dimana persentase tanaman tahunan meningkat dengan besarnya kemiringan. Kurnia (1996) menyelidiki penggunaan mulsa sebagai metode konservasi vegetatif dan menemukan bahwa penggunaan mulsa dapat mencegah kehilangan unsur hara makro seperti N, P, dan K. Kehilangan hara karena erosi tanah pada penggunaan mulsa *Mucuna* sp. dan

jerami padi masing-masing sekitar 26,8% dan 5,1% dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Studi Noeralam (2002) menemukan bahwa penerapan pola tanam (kacang tanah, jagung, dan kedelai) dengan teknik pemanenan air (rorak gulung dan mulsa vertikal) dapat meningkatkan kualitas tanah di lahan kering masing-masing sebesar 88% dan 94%, serta menurunkan aliran permukaan dan erosi tanah. Hasil penelitian lain menunjukkan bahwa metode konservasi seperti menyebarkan mulsa yang terbuat dari sisa tanaman (seperti jerami dan jagung) di atas permukaan tanah di lahan yang digunakan untuk tanaman pangan dapat mengurangi erosi tanah hingga 80 hingga 100 persen (Kurnia et al., 1997).

Terdapat dua model metode perlindungan tanah yaitu metode vegetatif dan metode strategi teknik sipil. Teknik perlindungan vegetatif mencakup penggunaan pupuk organik dan mulsa, rotasi tanaman, penanaman berbentuk strip, penggunaan tanaman penguat teras, dan tanaman penutup tanah. Pengelolaan lahan vegetatif dapat memastikan keberlanjutan tanah dan air karena berbagai manfaatnya, termasuk: 1. menjaga kestabilan struktur tanah melalui sistem perakaran dengan meningkatkan granulasi tanah, 2. mengurangi penguapan melalui penutup lahan dari serasah dan tajuk, dan 3. meningkatkan aktivitas mikroorganisme, yang meningkatkan porositas tanah, meningkatkan jumlah infiltrasi dan mencegah erosi. Nilai ekonomi vegetasi, yang membantu meningkatkan pendapatan petani, menjadikannya sama pentingnya dengan tanaman kehutanan.

Sejumlah metode berbeda dapat digunakan untuk menerapkan konservasi vegetatif, termasuk:

1. *Sistem Pertanaman Lorong*

Sistem penanaman lorong menggunakan cara tanaman ditanam di dalam barisan antar tanaman pagar. Meskipun teknik penanaman lorong telah ada sejak lama dan merupakan salah satu cara untuk melestarikan air dan tanah dalam membangun sistem pertanian

berlanjut di lahan kering namun hampir seluruh petani tidak menggunakannya. Metode ini juga merupakan sumber bahan organik dan nutrisi yang sangat baik untuk tanaman lorong, terutama nitrogen, dan membantu memperlambat laju *run off* dan erosi. Penanaman lorong ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Pertanaman lorong

2. *Sistem Pertanaman Strip Rumput*

Teknologi penanaman yang dikenal sebagai sistem penanaman strip rumput hampir sama dengan penanaman lorong, tetapi tanaman pagar yang digunakan adalah rumput. Jalur rumput dipasang dengan kontur dan minimal lebar 0,5 meter. Semakin lebar jalurnya akan lebih baik pengendalian erosinya. Teknologi ini dapat diintegrasikan dengan ternak dengan bertanam rumput hijau di jalur tersebut. Penanaman dilakukan sesuai dengan garis kontur dan diatur secara bergantian di berbagai lokasi untuk mendukung pertumbuhan rumput yang optimal. Tempat terbaik untuk menanam rumput adalah pada awal musim hujan. Gambar 7 menunjukkan bagaimana strip rumput harus diletakkan di tengah barisan tanaman primer.



Gambar 7. Penanaman dalam strip

3. *Tanaman Penutup Tanah*

Tanaman penutup tanah disebut sebagai tanaman aksesori adalah tanaman yang ditanam secara terpisah atau bersama-sama dengan tanaman utama. Vegetasi penutup tanah memiliki tiga manfaat yaitu: (1) menahan atau mengurangi kerusakan akibat curah hujan dan aliran air di permukaan tanah, (2) memperkaya tanah dengan bahan organik melalui batang, ranting, dan daun yang gugur, dan (3) membantu penguapan, sehingga mengurangi kadar air tanah. Vegetasi penutup tanah sangat penting untuk mengurangi kapasitas penyebaran air hujan, mengurangi volume dan kecepatan aliran permukaan, dan meningkatkan penetrasi air ke dalam tanah sehingga mengurangi erosi. Pengembangan tanaman penutup untuk konservasi dapat menggunakan tanaman seperti *Centrosema pubescens* (CP), *Pueraria javanica* (PJ), *Calopogonium mucunoides* (CM), *Psopocarpus polustris* (PP), *Calopogonium caeruleum* (CC), *Desmodium ovalifolium* (DO), *Mucuna conchinchinensis* (MC), dan *Pueraria phascoloides* (PP). Gambar 8 menunjukkan gambaran ringkas dari berbagai spesies tanaman yang digunakan sebagai penutup tanah.



Gambar 8. Tanaman penutup tanah

4. *Mulsa*

Mulsa adalah istilah yang mengacu pada berbagai bahan (seperti limbah tanaman dan plastik) yang digunakan untuk menutupi permukaan tanah. Mulsa bermanfaat mengurangi penguapan dan melindungi tanah dari tetesan air hujan, yang dapat mengurangi kepadatan tanah. Mulsa berupa sisa tanaman, lembaran plastik, dan mulsa batu. Mulsa sisa tanaman terdiri dari bahan organik yang membusuk seperti jerami dan batang jagung, serta sisa pagar tanaman, daun, dan ranting tanaman. Bahan tersebut disebar secara merata pada ketebalan 2-5 cm sehingga permukaan tanah tertutup sempurna.



Gambar 9. Teknik penggunaan mulsa

Untuk memenuhi kebutuhan tanaman akan kelembapan, mulsa dapat membantu menjaga kelembapan tanah dengan mencegah penguapan. Lebih jauh, mulsa dapat menghentikan dan mengganggu perkembangbiakan tanaman gulma sehingga mengurangi penggunaan air. Gambar 9 di atas menunjukkan metode penggunaan mulsa.

5. *Pengelompokan tanaman dalam suatu bentang alam (landscape)*

Tanaman yang memiliki kebutuhan air yang sama dikelompokkan ke dalam satu areal lanskap untuk memungkinkan alokasi irigasi yang efektif berdasarkan kebutuhan tanaman. Dengan mengkategorikan tanaman ini, pengelolaan air akan menjadi lebih mudah. Ini akan memungkinkan pengairan irigasi terbatas mengikuti keperluan tanaman. Hal ini memiliki keuntungan terutama menghemat air dan mendorong adanya perlindungan air.

6. *Penyesuaian jenis tanaman dengan karakteristik wilayah*

Salah satu bagian dari strategi konservasi air ini adalah membangun kemampuan untuk menemukan berbagai tanaman alternatif yang cocok dengan tingkat kekeringan yang mungkin terjadi di berbagai daerah. Menanam jagung, misalnya hanya membutuhkan 0,8 kali jumlah air yang dibutuhkan sawah, akan menjadi pilihan yang tepat sebagai pengganti padi sawah untukantisipasi kekeringan. Komoditas utama di wilayah hulu DAS yang dicirikan oleh lereng yang curam, adalah tanaman kehutanan.

7. *Penentuan pola tanam yang tepat*

Pola tanam penting untuk menentukan jenis konservasi tanah yang akan dilakukan apakah tanah tersebut datar atau miring. Untuk mengurangi kekurangan air selama musim kemarau, pola tanam perlu disesuaikan agar sesuai dengan pola curah hujan. Sebuah penelitian oleh para ahli menemukan bahwa budidaya tumpang-

sari singkong dan jagung dapat mengurangi curah hujan dari 43% menjadi 33% pada lahan dengan kemiringan 5%. Hal ini karena kebutuhan air masing-masing kelas vegetasi sangat berbeda. Banyak spesies tanaman sangat membutuhkan air, yang dapat berfungsi sebagai garis besar untuk menciptakan pola tanam yang ideal.

Teknik konservasi yang dikenal sebagai metode sipil teknis mengontrol aliran permukaan untuk mencegah kerusakan pada lapisan tanah atas dan menciptakan kondisi yang mendukung pertumbuhan tanaman. Struktur konservasi seperti pengolahan lahan berbasis gulud, kontur, terasiring, dan saluran drainase (termasuk rorak, air terjun, serta saluran drainase air) dibangun dalam upaya konservasi yang menggunakan pendekatan sipil teknis ini.



Gambar 10. Konservasi lahan dengan metode vegetatif

8. Pembuatan teras pada lahan dengan lereng yang curam.

Pembentukan teras dibuat ketika kemiringan lahan di atas 8%. Tanaman semusim sebaiknya tidak ditanam di lereng yang curam. Banyak jenis teras yang dimaksudkan untuk menghemat air juga dapat digunakan untuk konservasi tanah. Beberapa jenis dari teras adalah teras pematang, teras buntu (rorak), teras kredit, teras individu, teras datar, teras batu, teras bangku, teras SPA (*Spanding Plateau*), serta parit di lereng bukit.

Teras gulud biasanya dibangun di tempat dengan kemiringan 10–15 derajat. Teras ini sering memiliki infrastruktur drainase air yang dimaksudkan untuk memperlambat aliran air selama musim hujan. Tujuan saluran ini adalah untuk mencegah erosi dan meningkatkan penyerapan air. Teras Bangku dibangun dengan memiringkan lahan dengan lahan pengolahan, menghasilkan deretan dengan bentuk tangga. Bermanfaat dalam mengatur aliran permukaan dan erosi. Direkomendasikan untuk digunakan di tanah dengan kemiringan 10%–40%, solum yang dalam lebih dari 60 cm, tanah yang cukup tahan longsor, dan tanah yang tidak mengandung zat beracun bagi tanaman seperti besi dan aluminium.

Guludan adalah sistem penanaman tanaman di lorong-lorong di antara deretan tanaman pagar. Guludan sangat bermanfaat dalam mengurangi laju limpasan permukaan dan erosi, dan merupakan sumber bahan organik dan hara terutama N untuk tanaman lorong. Sistem ini mengurangi limpasan permukaan dan erosi dan berfungsi sebagai gudang bahan organik dan nutrisi penting terutama nitrogen, untuk tanaman lorong.



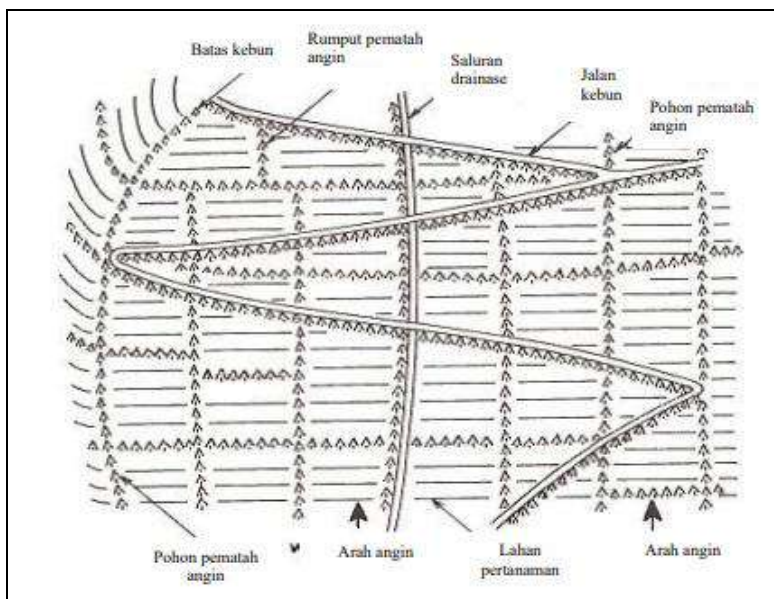
Gambar 11. Bentuk teras pada lahan miring

9. *Wind break*

Wind break atau penahan angin adalah barisan pohon atau rumput tinggi yang disusun secara strategis pada jarak tertentu untuk mengurangi erosi angin dan kerusakan tanaman yang di-

sebabkan oleh angin. Penahan angin berfungsi (a) mengendalikan erosi angin, (b) mengurangi kerusakan fisiologis atau mekanis yang disebabkan oleh hembusan angin yang kuat, (c) mengurangi evapotranspirasi, dan (d) mencegah kerusakan tanaman yang disebabkan oleh kadar garam yang tinggi di lingkungan yang penuh dengan garam (Kurnia et al., 2004). Penahan angin adalah teknik menanam tanaman tahunan atau pohon untuk menahan atau mematahkan angin untuk menjaga kelembaban serta mengurangi adanya penguapan dari permukaan tanah dan tanaman selama irigasi.

Pohon yang digunakan sebagai penahan angin memiliki pertumbuhan yang tegak, sistem akar yang dalam, cabang, dan ranting yang kuat (Gambar 12). Beberapa tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk menahan angin kencang antara lain bambu, *Accacia mangium*, *Accasia auriculiformis*, *Mahagonia* sp., *Sesbania grandiflora*, *Casuarina* sp., dan banyak spesies botani lainnya dapat dimanfaatkan.



Gambar 12. Bagan wind break (FFTC, 1995 ; Kurnia, 2004)

10. Pemanenan Air hujan

Pemanenan air hujan adalah cara lain untuk menyimpan air hujan untuk digunakan di musim kemarau. Pemanenan air di Indonesia menggunakan embung dan *channel reservoir*. Di daerah tadah hujan dengan curah hujan yang rendah, metode konservasi air berbasis embung banyak digunakan. Embung adalah struktur penyimpanan air yang berbentuk kolam yang digunakan untuk menyimpan air hujan dan rembesan di sawah tadah hujan yang dikeringkan dengan baik.

11. Dam Parit

Sistem parit berguna untuk mengurangi aliran permukaan, erosi, dan sedimentasi dengan mengumpulkan atau menahan pergerakan air di parit untuk memfasilitasi penggunaan aliran air permukaan untuk keperluan irigasi di lahan yang berdekatan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 13.



Gambar 13. Dam parit untuk menampung dan mengalirkan air

Keunggulan:

- Memfasilitasi penyimpanan air dalam jumlah besar dengan mencegah aliran air melalui saluran atau parit.
- Tidak dapat memanfaatkan area pertanian atau lahan yang dapat diolah.
- Sistem irigasi dibangun untuk mengairi sejumlah lahan yang luas di seluruh daerah aliran sungai (DAS).
- Menurunkan kecepatan aliran permukaan, menurunkan erosi dan penipisan lapisan tanah atas yang subur, dan menurunkan sedimentasi. Ini juga akan memudahkan infiltrasi air ke dalam tanah di wilayah DAS, sehingga mengurangi kemungkinan kekeringan selama musim kemarau.
- Biaya pembuatan lebih murah, sehingga dapat dijangkau petani.

E. Pemecahan Masalah Sosial Ekonomi

Adanya masalah sosial ekonomi yang pelik merupakan salah satu hambatan bagi peningkatan produktivitas lahan kering yang berkelanjutan secara ekologis. Sangat dapat dipahami bahwa sebagian besar petani belum mencapai tingkat keberlanjutan dan keramahan lingkungan dalam praktik pertanian mereka, mengingat kondisi yang mereka hadapi, yang utamanya berfokus pada pemenuhan kebutuhan dasar. Sumber daya keuangan yang tidak mencukupi atau terbatas, elemen risiko, dan ketidakpastian adalah hal-hal yang menghalangi petani untuk menggunakan teknologi. Untuk meningkatkan kesejahteraan petani, sangat penting untuk memberikan banyak paket bantuan kepada petani lahan kering untuk layanan penyuluhan dan bantuan modal seperti subsidi atau kredit.

Mengatasi tantangan saat ini dapat dibantu oleh kapasitas sosial, ekonomi, dan kelembagaan yang belum dimanfaatkan di tingkat lokal, regional, dan nasional. Kemungkinan-kemungkinan tersebut meliputi: a) Pasar komoditas pertanian, termasuk beras

dan tanaman palawija dan hortikultura, masih sangat luas. Selain itu, produksi beras dapat ditingkatkan untuk mengurangi ketergantungan pada impor, selain memenuhi permintaan pemerintah daerah, regional, dan nasional. b) Petani menunjukkan keinginan yang kuat untuk mengembangkan pertanian, terutama di daerah kering. c) Petani dapat memanfaatkan dukungan pemerintah, seperti undang-undang, peraturan, dan program bantuan, untuk meningkatkan praktik pertanian mereka. d) Tenaga Penyuluh Pertanian (PPL) adalah salah satu contoh organisasi yang mendukung kemajuan pertanian. PPL meningkatkan pengetahuan dan keterampilan petani. e) Pandangan filosofis yang sama dimiliki oleh kelompok sosial tradisional, seperti kelompok arisan, kelompok agama, dan kelompok tani. Salah satu keuntungan dari memperluas pertanian adalah adanya pola pikir bersama di antara beberapa unit pelaksana yang bekerja sama.

STRATEGI INOVASI PENGELOLAAN LAHAN KERING

Inovasi teknologi dan strategi pengelolaan dapat diterapkan dengan memperhatikan dua faktor utama, yaitu kondisi yang perlu dipenuhi (*necessary condition*) dan kondisi yang cukup (*sufficient condition*). Kedua faktor ini bertujuan untuk memastikan tercapainya tujuan dari strategi pengelolaan lahan kering (Subagyono *et al.*, 2004). Beberapa langkah strategi yang bisa dilakukan meliputi:

A. Pengelolaan Lahan Kering

Penanganan lahan kering sedikit berbeda, tergantung pada iklimnya, apakah lahan tersebut berada di daerah kering atau basah. Penanganannya perlu disesuaikan dengan kondisi lokasi, terutama untuk lahan kering beriklim kering yang sebagian besar terdapat di wilayah Indonesia bagian timur, seperti NTT, NTB, Maluku, Papua, dan sebagian Sulawesi. Persoalan yang dihadapi, baik dari segi sumber daya lahan, dinamika sosial, maupun budaya masyarakat, sedikit berbeda dengan lahan kering yang beriklim hujan, sehingga penanganannya pun berbeda. Mulyani *et al.*, (2014) mengemukakan sejumlah opsi pengelolaan yang menjadi faktor pembatas di lahan kering dan dapat digunakan untuk mengatasi sejumlah masalah. Kemungkinan permasalahan tersebut antara lain:

1. Ketersediaan air di daerah dengan curah hujan di bawah 2000 mm atau bahkan kurang dari 1000 mm per tahun merupakan tantangan tersendiri, sehingga diperlukan inovasi teknologi yang tepat guna. Teknologi untuk eksplorasi sumber daya air dapat dikembangkan jika sumber air tanah dan air permukaan

yang ada saat ini belum dimanfaatkan secara maksimal. Faktor ekonomi mengharuskan teknik distribusi yang paling mudah dan murah menjadi pilihan terbaik. Teknologi distribusi yang diadopsi harus mudah dioperasikan oleh petani, misalnya bendungan parit, waduk tamren, irigasi tetes, sprinkler, dan sistem gravitasi bebas bahan bakar lainnya.

2. Pengembangan teknik budidaya termasuk memilih komoditas berumur pendek yang tahan terhadap perubahan lingkungan, mengatur pola tanam dan jadwal tanam, dan sebagainya.
3. Konservasi tanah dan air diperlukan di lokasi perbukitan dan pegunungan dengan kemiringan setidaknya 15–40%. Kelas kemiringan lahan dapat diakomodasi dengan menyesuaikan pola agroforestri, yang menggabungkan tanaman pangan dan tanaman tahunan.
4. Tanah di sebagian besar wilayah kering memiliki tekstur kasar dan dangkal. Guna mengurangi erosi, batu-batuan dapat digunakan dengan menyusunnya menjadi tanggul dan teras batu. Adanya medan berbatu dan bergunung-gunung, penggunaan traktor tidak disarankan untuk pengolahan tanah. Metode yang ideal adalah membersihkan ladang dengan memotong, membakar, dan kemudian menanam dengan cangkul tanpa menggunakan pengolahan tanah apa pun.
5. Karena keterbatasan tenaga kerja, pola tanam dan panen dilakukan dengan metode arisan tenaga kerja antar anggota kelompok, yang sekaligus memperkuat budaya gotong royong. Namun, cara ini menyebabkan waktu tanam dan panen menjadi lebih lama karena dilakukan secara bergiliran.
6. Masyarakat yang biasa menggembalakan ternak di lahan pertanian saat musim kemarau perlu membuat pagar dan menyediakan kandang komunal dengan bak pakan. Selain itu, penyediaan hijauan pakan bisa meningkatkan indeks panen.

B. Pemetaan dan Kesesuaian Lahan

Penggunaan lahan kering, baik dengan lingkungan asam maupun tanpa lingkungan asam, risiko kerusakan lahan dapat dikurangi. Selain itu, pemetaan kesesuaian lahan sangat penting untuk kinerja bisnis. Peta kemampuan dan kesesuaian dapat dianggap sebagai prioritas pemanfaatan karena dapat digunakan untuk memperkirakan permintaan input produksi. Lahan kering ini ideal untuk tanaman perkebunan, komoditas lain, dan tanaman pangan. Kesesuaian lahan adalah tingkat kesesuaian sebidang tanah untuk tujuan tertentu. Menurut Djikerman dan Dianingsih (1985), kelas kesesuaian lahan potensial menunjukkan kesesuaian lahan untuk penggunaan tertentu ketika perbaikan lahan selesai, sedangkan kelas kesesuaian lahan aktual menunjukkan kesesuaian lahan untuk penggunaan tertentu saat ini. Untuk mengetahui kesesuaian sebidang tanah, data dan informasi yang dikumpulkan langsung dari lapangan digabungkan dengan data pemeriksaan laboratorium.

C. Pewilayahan Komoditas Lahan Kering

Peta kesesuaian lahan dan daya adaptasi serta neraca air masing-masing wilayah misalnya lahan kering masam dan daerah beriklim kering dapat digunakan untuk menentukan zonasi komoditas tanaman pangan, perkebunan, dan peternakan menurut masing-masing kelas terbaik. Zonasi komoditas untuk lahan kering masam dan daerah beriklim kering menurut Kementerian Pertanian dapat dibagi dan dikembangkan sesuai dengan penanaman komoditas yang telah dikembangkan saat ini. Salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas pangan dan energi adalah dengan mengembangkan berbagai kemajuan teknologi yang didasarkan pada penelitian. Kegagalan panen dapat dikurangi dengan menggunakan kelas kesesuaian lahan untuk zonasi komoditas.

Evaluasi lahan dilakukan baik secara fisik maupun ekonomi untuk menilai potensi sumber daya lahan untuk pertumbuhan

komoditas pertanian dengan menggunakan karakteristik lahan yang mempengaruhi produktivitas tanaman. Evaluasi lahan dengan asumsi *Input* (masukan) "sedang" dengan menerapkan teknologi petani saat ini yaitu teknologi petani modern yang digunakan untuk mengelola lahan seperti pemupukan dan konservasi tanah, dan didukung oleh bantuan pemerintah seperti kredit modal untuk menyediakan fasilitas produksi (FAO, 1983). Dalam penilaian kesesuaian lahan, karakteristik kualitas lahan dipertimbangkan dievaluasi dengan Tipe Penggunaan Lahan (TPL). Untuk lahan dengan *input* sedang, karakteristik seperti ketersediaan air (wa), retensi hara (nr), ketersediaan hara (na), bahaya erosi (eh), media perakaran (rc), dan rezim suhu udara (tc) adalah Tipe Penggunaan Lahan (TPL) yang harus diperhitungkan. Dibandingkan dengan kualitas lahan lainnya, dua aspek kualitas lahan yang paling sulit diatasi adalah rezim suhu udara dan media perakaran (Saidi dan Suryani, 2019).

Lahan dibagi menjadi beberapa unit lahan berdasarkan kesamaan karakteristik tanah, iklim, dan vegetasi. Untuk membuat klasifikasi yang lebih aplikatif, agroekosistem dikelompokkan berdasarkan konsep zonasi komoditas, atau pemetaan zona agroekologi. Untuk setiap komoditas yang dipetakan selanjutnya disusun analisis usahatani berdasarkan peta zonasi komoditas.

D. Aplikasi Teknologi Pertanian

Idealnya pemanfaatan lahan kering baik lahan kering masam maupun lahan kering iklim kering hendaknya dilakukan seoptimal mungkin. Dalam artian, pemanfaatannya harus mendapatkan keuntungan ekonomi dengan tetap menjaga produktivitas tanah. Di bawah ini beberapa cara pengelolaan lahan kering yang sering dilakukan:

1. Penggunaan Bahan Amandemen Tanah.

Bahan pembenah tanah dapat digunakan untuk meningkatkan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah. Selain itu, pemberian pupuk yang

berimbang sesuai dengan rekomendasi dosis anjuran kegiatan budidaya dapat mencapai hasil panen yang diinginkan. Untuk produksi pertanian, termasuk perkebunan dan tanaman pangan, pemanfaatan pupuk dan bahan pembenah tanah untuk perbaikan tanah dapat dilakukan di lahan kering iklim kering dan lahan kering iklim masam.

Untuk meningkatkan produksi, lahan kering yang rendah dengan bahan organik dan solum yang dangkal perlu ditambahkan dengan bahan organik. Beberapa jenis bahan organik yang dapat ditambahkan yaitu serasah, kompos, pupuk organik, atau pupuk hayati. Bahan organik tanah merupakan komponen penentu kesuburan tanah, terutama di daerah tropika yang memiliki ciri khas curah hujan dan suhu udara tinggi, yang membuat tanah lebih mudah terurai oleh aliran permukaan dan mengalami erosi dan pada kondisi ekstrem akan terjadi desertifikasi (penggurunan atau perubahan menjadi padang pasir).

Kandungan bahan organik tanah kurang dari 2% di 73% lahan pertanian Indonesia (termasuk lahan kering dan persawahan) menurut sejumlah pakar. Penyebabnya beragam, mulai dari intensitas penggunaan lahan yang tinggi, erosi, dan praktek pertanian yang tidak mengindahkan kaidah konservasi. Kondisi tanah seperti ini mengakibatkan sebagian besar biodiversitas tanah terganggu kehidupannya. Bahan organik tanah yang tinggi, aktivitas mikroba tanah menjadi tinggi, akibatnya produktivitas tanah menjadi tinggi. Bahan organik sebagai pembenah tanah memiliki peranan penting sebagai sumber karbon untuk mendukung kehidupan mikroorganisme. Jika bahan organik berada dalam jumlah terbatas akan terjadi defisiensi karbon sehingga perkembangan populasi mikroba terhambat. Hal ini akan berpengaruh terhadap proses mineralisasi hara sehingga tidak tersedia bagi tanaman.

Proses dekomposisi dan demineralisasi bahan organik berjalan sangat cepat di wilayah tropis basah seperti Indonesia (Lehmann

et al., 2003; Sukartono et al., 2011). Oleh karena itu, bahan organik harus diberikan secara teratur setiap musim tanam (Islami et al., 2011). Sebaliknya, petani tidak memiliki banyak sumber bahan organik. Hal ini menyebabkan petani sering mengeluarkan lebih banyak uang untuk bahan organik. Biochar adalah salah satu jenis pembenah tanah yang saat ini banyak digunakan untuk perbaikan tanah.

Biochar, juga disebut "arang organik", adalah material yang dihasilkan dari proses pirolisis biomassa dalam kondisi tanpa atau terbatas oksigen. Teknologi ini menghasilkan padatan berwarna hitam yang disebut *char* atau arang, dan karena berasal dari biomassa, disebut biochar. Sifat-sifat biochar sangat beragam dan bervariasi tergantung pada bahan baku yang digunakan dan proses pembuatan. Biochar bersifat basa, memiliki senyawa karbon yang tinggi, dan mengandung banyak unsur hara esensial, terutama P dan K, serta memiliki kapasitas tukar ion yang relatif tinggi (Tabel 6). Para ahli berpendapat bahwa pemberian biochar satu kali cukup untuk beberapa musim tanam, bahkan selamanya (Islami et al., 2013; Wisnubroto, 2015). Widowati et al. (2020) menunjukkan bahwa biochar dapat meningkatkan bahan organik tanah hingga 75,5%. Selain itu, biochar dapat meningkatkan kualitas tanah untuk pertumbuhan tanaman dan meningkatkan ketersediaan unsur hara untuk tanaman.

Tabel 6. Sifat kimia *biochar* yang dibuat dari berbagai bahan baku

Peneliti	Bahan baku	pH	C (%)	N (%)	P (%)	K (%)	CTC cmol.kg ⁻¹
Chan and Xu (2009)	Kotoran ayam	9,9	38	2	2,5	2.2	-
Islami <i>et al.</i> (2011)	Pupuk kandang	7.9	25.5	0.78	0.82	0.79	17.7
Masulili <i>et al.</i> (2010)	Jerami padi	8,7	38,7	0,0	0,12	0,20	17,7
Sukartono <i>et al.</i> (2011)	Tempurung kelapa	9,9	80	0,34	0,10	0,84	11,7
Abnisa <i>et al.</i> (2013)	Pelepah daun kelapa sawit	-	71,79	1,27	-	-	-

Selain itu, *biochar* yang dilapisi kitosan digunakan sebagai pembenah tanah oleh Hamzah *et al.* (2023). Nilai durabilitas (81,83%) dari penggunaan *biochar* 100 mesh yang dilapisi dengan 20 gram kitosan per liter tergolong tinggi. Berdasarkan temuan ini, aplikasi partikel *biochar* 100 mesh yang dikombinasikan dengan 20 g kitosan per liter air menghasilkan nilai durabilitas maksimum sebesar 81,83%. Hal ini menunjukkan bahwa karena daya rekatnya yang kuat, partikel *biochar* yang lebih halus dengan dosis 20 g kitosan per liter air memiliki nilai durabilitas maksimum. Waktu dispersi berkorelasi langsung dengan daya rekat yang tinggi. Semakin lama periode dispersi pembenah tanah granular (berbentuk granul) sebagai pembenah tanah maka akan semakin baik. Semakin lama pembenah tanah berada di dalam tanah, semakin lama pula unsur hara akan dilepaskan, sehingga menghasilkan keberlanjutan tanah yang sangat tinggi. Hal ini terjadi akibat ukuran *biochar* yang halus dan keberadaan kitosan, serta keberadaan sejumlah komponen lain seperti Fe, yang menyebabkan ruang pori menjadi lebih sempit. Hal ini sesuai dengan penelitian Damris *et al.*, (2018), yang melaporkan bahwa permukaan *biochar* masih longgar sebelum penambahan Fe, tetapi distribusi ukuran pori dan diameter pori menyusut ketika Fe ditambahkan. Hal ini menunjukkan

bahwa biochar dengan kitosan dapat menyerap dan mengisi ruang pori. Air dapat disimpan secara efektif di ruang pori kecil untuk jangka waktu yang lama, sehingga ideal untuk digunakan di lahan kering.

Memanfaatkan biochar yang dilapisi kitosan tidak hanya meningkatkan kualitas tanah tetapi juga menurunkan kadar logam berat. Kemampuan biochar berlapis kitosan untuk membebaskan ikatan ion dari asam organik diduga sebagai penyebab penurunan ini. Salah satu bahan amandemen yang dapat digunakan sebagai pengatur untuk memperbaiki tanah adalah biochar (Hamzah et al., 2021). Menurut Taraqqi et al. (2021), pencemaran dapat dikelola dengan nanobiochar. Agar sejalan dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini juga menggunakan nanobiochar dengan ukuran yang berbeda. Selain biochar, kitosan merupakan bahan yang efektif untuk meremidiasi tanah yang tercemar. Bioavailabilitas seng menurun akibat penggunaan kitosan oleh Tripathi et al. (2017) yang dikombinasikan dengan mono kalsium fosfat. Lebih jauh, kitosan menunjukkan tingkat remediasi sebesar 17,00%, 1,80%, dan 31,00% untuk tanah yang terkontaminasi As, Pb, dan P. Angka-angka yang disebutkan di atas tetap lebih besar daripada temuan penelitian ini (Hamzah et al, 2023).

Menurut Nurida et al. (2015), bahan baku organik dan mineral telah digunakan secara luas untuk mempercepat regenerasi lahan kering iklim asam. Produksi tanaman dan karakteristik tanah dapat ditingkatkan dengan menggunakan biochar sebagai pembenah tanah, terutama pada tanah asam (Spokas et al., 2012). Banyak peneliti telah meneliti berbagai solusi pengkondisi tanah. Temuan menunjukkan bahwa Volkanorf K424 dan Biochar SP50 Submicron adalah pengkondisi tanah yang potensial untuk perawatan lahan kering asam yang terdegradasi.

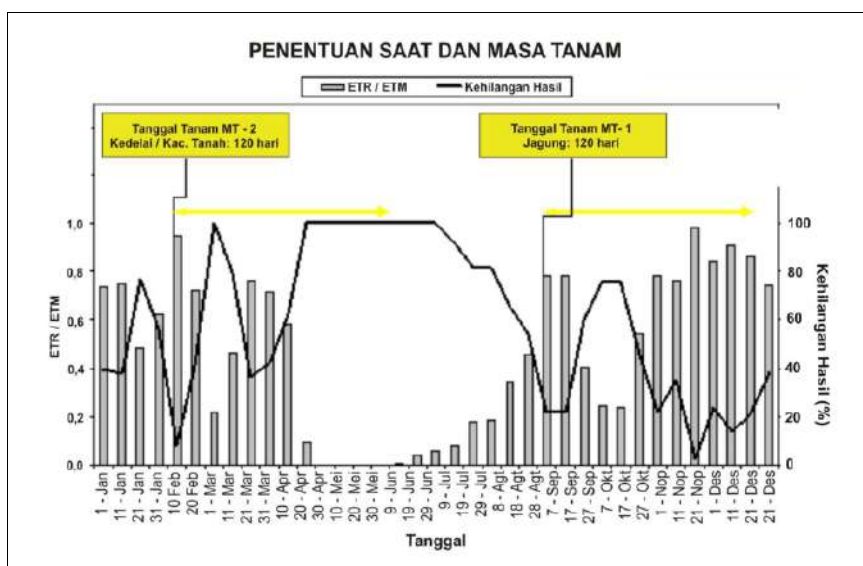
Kemampuan formula Biochar SP50 Submicron untuk meningkatkan air yang dapat diakses hingga 11,0% vol adalah pembenah

tanah yang paling menjanjikan untuk perbaikan sifat fisik tanah. Tanah bertekstur pasir sangat cocok untuk perbaikan sifat fisik tanah ini. Sementara itu, pembenah tanah Volkanorf K424 menunjukkan peningkatan yang paling nyata dalam karakteristik kimia tanah karena kandungan Ca dan P-nya yang tinggi, yang terlihat dari peningkatan pH, kandungan fosfor, dan penurunan konsentrasi Al³⁺ (Nurida et al., 2015). Upaya lain untuk mempercepat penyelesaian masalah di lahan kering iklim asam adalah dengan menyediakan kapur, khususnya dolomit atau kalsit. Menambahkan bahan organik adalah solusi jangka panjang lainnya untuk masalah ini. Oleh karena itu, selain penting untuk mengelola produktivitas tanah secara berkelanjutan, penambahan bahan organik juga dapat mengatasi masalah keasaman tanah yang disebabkan oleh kandungan Al³⁺ yang tinggi. Untuk meningkatkan pH tanah, berbagai macam amelioran digunakan, termasuk sekam padi, abu serbuk gergaji, biomassa gulma, dan limbah pertanian. Untuk mencegah unsur logam berat meracuni tanaman, zat amelioran meningkatkan unsur Al, Fe, dan Mn.

2. *Pengaturan Pola Tanam*

Dalam menerapkan pola tanam di lahan kering perlu diperhatikan beberapa hal misalnya: (a) *Kemiringan lahan*; berpengaruh terhadap kestabilan lereng dan kecepatan aliran permukaan atau *runoff*. Makin curam lereng, makin besar pula terjadinya erosi karena kecepatan larinya air menjadi besar sehingga berdampak pada erosi. (b) *Kedalaman efektivitas lahan*; berpengaruh pada pertumbuhan akar dan tingginya infiltrasi. (c) *Waktu tanam*; penentuan waktu tanam yang tepat perlu diperhatikan beberapa hal antara lain: Jumlah curah hujan setahun dan distribusinya setiap bulan, Umur tanaman dan saat panen terbaik, Kemampuan tanah mengikat air, Kebutuhan air untuk tanaman, Kepekaan tanaman terhadap gangguan cuaca, dan Pengaruh cuaca terhadap serangan hama dan

penyakit tertentu. (d) Pengaturan jarak tanam dengan tujuan : (1) memperoleh ruang tumbuh, cahaya dan hara agar tidak terjadi kompetisi dalam pengambilannya. (2) Memudahkan pemeliharaan, pemupukan dan proteksi tanaman. (3) Membantu konservasi tanah dan air.



Gambar 14. Penentuan pola tanam (Dariah dan Haryani, 2014).

Pengaturan pola tanam seperti intercropping merupakan salah satu alternatif yang dapat digunakan. Pola ini dapat mengefisienkan *input* produksi pada lahan kering, baik pada lahan kering masam maupun lahan kering iklim kering. Pola ini juga sekaligus bertujuan untuk penganeekaragaman pangan dan kelestarian lingkungan. Dariah dan Haryani (2014), membuat penentuan pola tanam di lahan tegalan berdasarkan tanggal tanam digambar pada Gambar 14 di atas.

E. Konservasi Tanah dan Air

Total luas lahan kering di Indonesia yang jumlahnya 148 juta ha, sekitar 45% merupakan lahan pegunungan berlereng yang sangat

rawan terhadap erosi. Sungai-sungai ini berhulu di pegunungan dan perbukitan setelah mengalir melalui celah-celah lereng dan masuk ke daerah daratan yang lebih rendah karena gaya gravitasi. Dalam kondisi geografis seperti ini, kesuburan tanah harus dijaga melalui intervensi teknologi dan konservasi air untuk mencegah penurunan yang dapat menyebabkan degradasi lahan. Teknik konservasi usaha tani di lahan miring merupakan sistem untuk membangun pertanian berkelanjutan. Adanya tujuan meningkatkan fungsi lahan, Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 37 Tahun 2014 tentang Konservasi Tanah dan Air memberikan penjelasan yang jelas tentang upaya konservasi serta berbagai metode yang dapat digunakan.

Berkaitan dengan fungsi tanah pada lahan, pada pasal 24 undang-undang tersebut mengisyaratkan sebagai berikut: (1) Peningkatan Fungsi Tanah pada Lahan Kritis dan Lahan Rusak di Kawasan Lindung dan Kawasan Budi Daya yang sudah dipulihkan dilaksanakan dengan metode: a. vegetatif; b. agronomi; dan/atau c. sipil teknis pembuatan bangunan Konservasi Tanah dan Air. (2) Metode vegetatif sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf a merupakan penanaman tanaman Konservasi Tanah dan Air dapat berupa: a. kayu-kayuan; b. perdu; c. rumput-rumputan; dan/atau d. tanaman penutup tanah lainnya. (3) Metode agronomi sebagaimana dimaksud pada ayat (1) huruf b dapat berupa kegiatan: a. pemberian mulsa; b. pengaturan pola tanam; c. pemberian amelioran; d. pengayaan tanaman; e. pengolahan tanah konservasi; f. penanaman mengikuti kontur; g. pemupukan; h. pemanenan; dan/atau i. kegiatan lain sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan. (4) Metode sipil teknis pembuatan bangunan Konservasi Tanah dan Air dapat berupa: a. sengkedan; b. teras guludan; c. teras bangku; d. pengendali jurang; e. sumur resapan; f. kolam retensi; g. dam pengendali; h. dam penahan; i. saluran buntu atau rorak; j. saluran pembuangan air; k. terjunan air; dan/atau l. beronjong.

Bencana alam seperti tanah longsor dan erosi disebabkan sebagian besar oleh faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam utama termasuk iklim, bahan induk, lereng, elevasi, dan sifat tanah. Pengaruh antropogenik adalah efek aktivitas manusia yang dapat mempercepat terjadinya tanah longsor dan erosi.

Untuk mencegah tanah longsor, sangat disarankan untuk menggunakan tanaman yang berakar dalam. Tanaman dengan akar dalam dapat menembus ke bagian tanah yang paling dalam. Oleh karena itu, tujuan pengendalian tanah longsor adalah untuk mencegah penumpukan air di permukaan, terutama di daerah yang mengalami longsor. Kemiri, cengkeh, pala, kayu manis, kayu sonokeling, petai, jengkol, kopi, akar wangi, lengkung, alpukat, dan tanaman lainnya dapat digunakan sebagai alternatif penanaman (Departemen Pertanian, 2006). Arsyad (2000) menyatakan bahwa terdapat dua metode konservasi yaitu mekanis dan vegetatif yang efektif untuk mengendalikan erosi. Konservasi mekanis mencakup penanganan dan pembangunan struktur pengendali erosi secara fisik dengan tujuan mengatur aliran permukaan (limpasan) dan meningkatkan kesuburan tanah. Selain dapat mengendalikan erosi vegetatif, konservasi tanah mekanis juga mencakup penanaman vegetasi di antara struktur pengendali erosi, seperti tanaman penguat teras dengan akar wangi atau pohon legum dan tanaman rumput-rumputan dengan akar berukuran besar yang dapat melakukan pengendalian erosi dengan baik. Konservasi air yang dapat berfungsi juga menjadi konservasi tanah bertujuan untuk memperlambat hilangnya hasil pertanian, terutama di lahan kering. Tujuan utama konservasi adalah untuk memperlambat aliran permukaan dan meningkatkan laju infiltrasi.

F. Pertanian Terpadu

Pertanian terpadu merupakan integrasi kegiatan dari suatu kegiatan usaha yang terdiri dari kegiatan usaha tanaman pangan,

perkebunan, peternakan, dan perikanan pada satu kawasan dan waktu yang bersamaan. Prinsip keterpaduan ini bertujuan menghasilkan suatu produk yang optimal dan sifatnya cenderung tertutup terhadap *input* dari luar. Pertanian terpadu mengurangi resiko gagal panen karena ketergantungan pada suatu komoditas dan dihindari biaya produksi yang tinggi. Waton (2016), penerapan konsep pertanian terpadu akan menghasilkan 4 komponen utama yaitu (1) *Food*; sumber pangan berupa, beras, jagung, kedelai, daging, ikan, telur, dll. (2) *Feed*; Pakan ternak untuk ternak baik ternak besar maupun kecil, unggas, ikan dll. (3) *Fuel*; penghasil biogas sebagai pemasok energi untuk kebutuhan domestik, dan (4) *Fertilizer*: penghasil pupuk organik baik pupuk organik padat (kompos) maupun cair.

Beberapa prinsip pertanian terpadu yang perlu diperhatikan antara lain: (1) Diversitas yang tinggi dalam suatu ekosistem akan memberi jaminan keberlanjutan bagi petani, (2) Secara fungsional kombinasi antar spesies baik tanaman maupun hewan harus memiliki sifat-sifat yang saling melengkapi serta menganut sistem simbiosis mutualisme dengan *input* yang lebih rendah. (3) Penentuan kombinasi tanaman maupun hewan mengarah pada produktivitas yang tinggi, keamanan produksi serta konservasi sumber daya lahan, tenaga kerja dan modal (Bagas *et al*, 2015). Lebih lanjut diungkapkan bahwa ciri pertanian terpadu adalah (1). Pengelolaan pertanian dilakukan secara komprehensif. (2). Berorientasi pada produktivitas, efisiensi, keberlanjutan dan diterima secara sosial dan menguntungkan secara ekonomi. (3). Memiliki sistem yang mandiri dengan prinsip penerapan LEISA (*Low External Input Sustainable Agriculture*) karena mampu berjalan tanpa ketergantungan input dari luar. (4). Sistem dapat diukur dan dievaluasi pada setiap tahapan.

Prinsip keterpaduan adalah mengkombinasikan beberapa komponen di dalam suatu kawasan untuk mencapai produksi yang

maksimal. Beberapa model pertanian terpadu yang dapat diterapkan di lahan kering antara lain:

1. *Pertanian dan Kehutanan*

Sistem pertanian terpadu yang menggabungkan kehutanan dan pertanian bertujuan untuk mengurangi penggundulan hutan untuk lahan pertanian. Agroforestri adalah teknik menanam tanaman semusim bersama tanaman pangan. Ini adalah salah satu variasi dari sistem ini. Tanaman tahunan dengan akar yang dalam dikenal sebagai tanaman semusim. Chozin (2014) mengatakan bahwa agroforestri adalah pendekatan terpadu untuk mengelola lahan yang menggabungkan agronomi (pangan, perkebunan, hortikultura) dan tanaman penghasil kayu berkelanjutan (kehutanan). Hutan kemasyarakatan, hutan pertanian, hutan desa, dan agroforestri adalah istilah lain untuk sistem ini. Untuk mengelola hutan di Pulau Jawa, Perum Perhutani telah menerapkan strategi agroforestri dengan memanfaatkan kawasan hutan di bawah tegakan kayu atau tanaman keras untuk membudidayakan berbagai komoditas, seperti:

- Umbi-umbian: Porang, Temulawak, Garut, dan lain-lain;
- Tanaman semusim: Padi, Jagung, Kedelai, Singkong, Kacang-kacangan, dan lain-lain.
- Tanaman semusim, seperti jambu biji, jeruk, kopi, dan selada.
- Tanaman yang digunakan untuk obat-obatan: Seledri Jepang
- Minyak atsiri serai dan nilam

Beberapa ciri utama agroforestri, menurut Lundgren & Raintree (1982), adalah sebagai berikut:

- a. Agroforestri biasanya melibatkan dua atau lebih spesies tanaman (tanaman dan/atau hewan).
- b. Siklus sistem agroforestri selalu berlangsung lebih dari satu tahun.

- c. Ada hubungan antara tanaman berkayu dan tidak berkayu secara ekonomi dan ekologi.
 - d. Terdiri dari dua atau lebih jenis produk pada satu waktu; contohnya, buah-buahan, obat-obatan, bahan bakar, dan pakan ternak.
 - e. Memenuhi setidaknya satu tujuan fungsi pelayanan jasa, seperti menyediakan naungan, perlindungan angin, pupuk tanah, atau tempat untuk berkumpul bersama keluarga dan masyarakat.
 - f. Agroforestri bergantung pada pemanfaatan dan pengelolaan biomassa tanaman untuk sistem pertanian dengan input rendah di daerah tropis, terutama dengan memanfaatkan sisa tanaman semaksimal mungkin.
 - g. Sistem pertanian monokultur lebih sederhana secara ekonomi dan fisiologis daripada jenis agroforestri.
2. *Pertanian dan Peternakan*
- a. Dalam sistem pertanian terpadu, interaksi antara peternakan dan pertanian sangat berbeda, tergantung pada perspektif seseorang. Misalnya, istilah "mina padi" digunakan untuk menggambarkan hewan dan tanaman padi bersama-sama di sawah. Karena model penerapannya berbeda hal ini tidak berlaku untuk lahan kering. Namun, keuntungan dari hubungan saling bergantung antara pertanian dan peternakan adalah yang membuat keduanya serupa dan banyak manfaat dari keduanya. Salah satu keuntungan memiliki ternak adalah kemampuan untuk memanfaatkan tenaga hewan untuk keperluan pertanian. Selain itu, penggunaan kotoran hewan sebagai pupuk kandang adalah salah satu keuntungan yang diperoleh. Ternak juga dapat digunakan untuk mengolah tanah dan mengurangi biaya transportasi. Industri peternakan memiliki banyak manfaat untuk ditawar-

kan pada bidang pertanian dan peternakan. Ternak membutuhkan pakan. Pakan ternak akan dibuat dari bahan pertanian. Pertanian sangat penting untuk menjaga kualitas pakan ternak karena tidak semua ternak dapat diberikan pakan yang berasal dari alam. Sejumlah besar ternak bergantung pada pertanian sebagai sumber pakan mereka. Unggas merupakan salah satu contoh ternak yang sangat membutuhkan pertanian karena pakan unggas berupa biji-bijian (serealia) diperoleh dari kegiatan pertanian. Akibatnya, pertanian dapat dengan mudah memenuhi kebutuhan pakan ternak. Namun demikian, persaingan antara pakan dan makanan adalah masalah yang umum dalam pertanian hewan. Sumber daya yang digunakan untuk sistem pemberian pakan peternakan sama dengan yang digunakan manusia. Sereal dan tepung kedelai adalah bahan utama pakan ternak, yang juga dikonsumsi oleh manusia. Diproyeksikan bahwa konsumsi ternak akan mencapai sekitar setengah pasokan biji-bijian global.

- b. Apabila seluruh biji-bijian di dunia hanya dikonsumsi oleh manusia maka dapat memberi makan sembilan hingga sepuluh miliar penduduk dunia. Akibatnya, solusi untuk memenuhi permintaan pangan global ke depan yaitu membangun model peternakan tanpa bergantung pada konsumsi serealia (biji-bijian). Beralih ke sistem pakan non-biji juga mengurangi polusi lingkungan, memberikan lebih banyak peluang kerja, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan menghasilkan produk ternak berkualitas tinggi. Oleh karena itu, setiap upaya yang berhubungan dengan ternak perlu dan wajib berfokus pada hubungan sinergisnya pada upaya menguntungkan sistem pertanian secara menyeluruh, bukan menganggap ternak sebagai sumber pakan untuk memenuhi kebutuhan manusia. Menggunakan pakan yang sama sebagai

pakan hanya akan menimbulkan masalah bagi sistem peternakan di kemudian hari, terutama karena pakan sekarang digunakan sebagai energi sekaligus sebagai pakan. Tidak diragukan lagi bahwa untuk mempertahankan sistem pertanian secara keseluruhan, kemajuan dalam peternakan diperlukan.

- c. Sistem pertanian terpadu merupakan model pada pertanian untuk mengintegrasikan produksi tanaman pangan, perkebunan, peternakan, dan perikanan dalam satu tempat sekaligus guna meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam, termasuk input produksi, yang bermanfaat terutama di lahan dengan berbagai keterbatasan seperti lahan kering iklim asam dan lahan kering iklim kering. Sistem ini bertujuan untuk membangun siklus nutrisi terpadu di sekitarnya. Dalam hal ini, limbah dari satu subsistem dapat digunakan sebagai sumber daya untuk subsistem lainnya. Misalnya, ketika pertanian dan peternakan digabungkan, limbah tanaman dapat digunakan untuk membuat makanan ternak, dan limbah kotoran hewan dapat digunakan sebagai pupuk tanaman. Agroforestri menggunakan tanaman tahunan untuk menutupi sebagian besar lapisan tanah yang lebih dalam, dan limbah organik dari tanaman dapat membantu tanaman musiman tumbuh di tanah yang lebih dangkal menjadi lebih subur.
- d. Haryono (2013) mengatakan bahwa pada lahan sub-optimal, model pertanian terpadu ramah lingkungan terintegrasi (Pertanian Ramah Lingkungan, PRL) dengan berbagai variasi harus dibangun. Model pertanian yang memadukan pakan ternak dan jagung dengan sapi Bali adalah salah satu contoh rencana pertanian terpadu yang dapat diterapkan pada berbagai kondisi agroekologi lahan kering. Metode ini dapat membantu petani dalam dua hal. Metode ini memungkinkan

petani untuk memelihara ternak sebanyak 4-6 ekor per petani daripada hanya 1-2 ekor. Pertanian terpadu akan terus berkembang dengan teknik yang dibuat untuk mendukung keberlanjutannya jika telah menjadi bagian integral dari kehidupan masyarakat.

1. Penyediaan *input* produksi pertanian

Jika *input* produksi tidak terpenuhi, produksi tanaman semusim dan tahunan tidak akan mencapai produksi optimal sesuai dengan yang diharapkan. Hal ini terutama berlaku di lingkungan yang kering, asam, suboptimal, dan kering dengan berbagai masalah. Sangat penting untuk melakukan upaya dan langkah-langkah untuk memastikan bahwa *input* produksi pertanian terpenuhi. Pemerintah harus memudahkan penyediaan *input* produksi pertanian untuk petani.

2. Perbaiki infrastruktur

Untuk menjual hasil pertanian secara langsung ke pasar tanpa melalui berbagai rantai pemasaran dan untuk menyediakan *input* produksi ke lahan petani, infrastruktur yang memadai diperlukan. Tujuannya adalah untuk memaksimalkan produksi dan mewujudkan kesejahteraan petani. Lahan yang suboptimal tidak dapat dimanfaatkan sepenuhnya karena kurangnya infrastruktur, baik untuk sistem produksi langsung seperti irigasi, pengelolaan air, dan teknologi pasca panen, maupun untuk fasilitas penunjang seperti ketersediaan jalan utama, kegiatan usaha tani, dan sistem penyediaan sarana dan prasarana produksi lahan. Menurut Mulyani dan Syarwani (2013), *support* infrastruktur mencakup penyediaan sarana dan prasarana yang disesuaikan dengan tipologi lahan dan kebutuhan masyarakat, sehingga memudahkan petani untuk mengakses *input* produksi pertanian.

3. Pelatihan, pendampingan, dan pemberdayaan

Meningkatkan kemampuan berusaha petani di lahan sub-optimal masih relatif lebih rendah dibandingkan dengan petani di lahan sawah beririgasi (Mulyani dan Syarwani, 2013). Untuk peningkatannya dibutuhkan pendampingan di bidang perkebunan, peternakan, dan produksi pertanian yang harus dilatih di lahan kering iklim masam dan lahan sub optimal. Penting bagi penyuluh atau lembaga swadaya masyarakat untuk membantu petani menggunakan teknologi yang dilatihkan dengan benar, baik, dan berkelanjutan. Pemerintah juga harus membantu petani menjadi lebih mandiri agar mereka dapat meningkatkan pendapatan dan kesejahteraan mereka.

4. Pengembangan teknologi.

Penelitian yang dilakukan pada kedelai dan komoditas lain, penerapan Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) dapat meningkatkan hasil kedelai pada lahan kering iklim masam, dan lahan kering sub-optimal. Selain itu, pengembangan lahan yang tidak memenuhi standar harus didukung oleh percepatan terobosan teknologi penggabungan antara kearifan lokal dengan tipologi lahan (Irianto, 2009). Penyebaran dan kemajuan teknologi pertanian harus dipercepat, khususnya dalam hal teknologi pemupukan, varietas unggul, mekanisasi pertanian, teknologi pasca panen, dan sistem usaha tani yang ramah lingkungan (Haryono, 2013). Selain itu, varietas adaptif harus dikembangkan. Pengembangan varietas yang paling cocok untuk suatu wilayah atau bahkan untuk masalah lahan yang tidak ideal, seperti keracunan aluminium atau keadaan nutrisi yang rendah, harus dimaksimalkan.

PENCEMARAN TANAH

A. Definisi Pencemaran Tanah

Tanah adalah lapisan teratas kerak bumi. Tanah memiliki sifat fisik, kimia, dan biologi karena terdiri dari bahan organik dan mineral. Tanah memiliki kapasitas untuk menopang kehidupan manusia dan hewan lainnya (Peraturan Pemerintah No. 15/2000). Menurut Peraturan Pemerintah (PP), jika karakteristik dasar tanah berubah melebihi standar kerusakan tanah yang berlaku, tanah untuk produksi biomassa akan rusak. Pencemaran tanah biasanya disebabkan oleh masuknya zat, energi, atau unsur lingkungan lainnya ke dalam tanah secara alami atau oleh tindakan manusia. Hal ini menyebabkan tanah menjadi kurang baik dan tidak sesuai dengan fungsinya. Saat ini, para ahli di bidang pertanian berbicara tentang tanah karena pencemaran memengaruhi kualitas dan produktivitas tanah. Tanah membutuhkan lebih banyak sumber daya alam, khususnya pemanfaatan lahan, untuk kelangsungan hidup makhluk hidup di Bumi. Ini karena tanah berfungsi sebagai tempat tinggal bagi manusia dan hewan serta sebagai sumber nutrisi dan air bagi tanaman. Lahan dapat tercemar karena pengelolaan yang buruk dan pemanfaatan lahan yang berlebihan. Pencemaran tanah adalah masuknya bahan atau benda asing ke dalam tanah yang mencegahnya melakukan fungsinya semula. Banyak sumber pencemaran tanah, termasuk pembuangan limbah kimia dan perubahan habitat alami tanah akibat paparan limbah, bahan kimia, pestisida, sampah, dan polutan lainnya.

Pencemaran tanah mempengaruhi kesehatan tanah, yang berdampak pada kesehatan tanaman. Kehidupan manusia ber-

gantung pada tanah karena membantu menghasilkan biomassa, menghemat sumber daya air, dan menyediakan tempat tinggal bagi organisme hidup. Seberapa baik penggunaan lahan dapat dilakukan untuk melindungi generasi berikutnya. Penggunaan lahan yang berkelanjutan dapat dicapai jika kerusakan lahan dikendalikan sesuai dengan persyaratan kualitas yang dimaksudkan (Hamzah dan Priyadarshini, 2019).

Pencemaran tanah dapat diklasifikasikan sebagai alami atau antropogenik, tergantung pada penyebabnya. Pencemaran tanah adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan senyawa buatan manusia atau polutan yang mengubah ekosistem alami tanah. Pertanian harus memperhatikan masalah pencemaran tanah, terutama ketika ada logam berat seperti As, Pb, Cd, Ni, dan Cn. Logam berat dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman, ketahanan pangan, dan kesehatan manusia.

B. Faktor Penyebab Pencemaran Tanah

Saat ini, banyak lahan pertanian tercemar, terutama karena penggunaan bahan kimia seperti pestisida dan pupuk yang berlebihan. Masalah utama adalah sisa pestisida dan pupuk. Menurut Hamzah dan Priyadarshini (2019), ada laporan bahwa penggunaan pestisida dan pupuk telah menyebabkan pencemaran logam berat seperti Pb, Cd, Cu, dan Zn dalam beberapa tahun terakhir. Di tanah Jawa Tengah, konsentrasi Pb telah melampaui ambang batas (12,75 mg/kg), tetapi telah melampaui 2 mg/kg pada budidaya bawang merah. Laporan menunjukkan bahwa 106.000 hektar di Karawang dan Bekasi tercemar (Abdurachman, 2003). Pencemaran tanah disebabkan oleh industri dan pertambangan. Seringkali, limbah industri yang mengandung banyak bahan kimia dibuang langsung ke sungai, yang kemudian digunakan sebagai pasokan irigasi. Polusi kadang-kadang menumpuk di tanah kering, tetapi dampaknya tidak sebesar di sawah dengan banyak air. Pertambangan, terutama untuk

komoditas lahan kering seperti batu bara, emas, timah, dan mineral lainnya, sering kali dilakukan dengan metode tambang terbuka, yang mengkontaminasi lahan pertanian di sekitarnya.

Selain erosi dan sedimentasi, penyebab utama pencemaran tanah adalah penggunaan berlebihan bahan kimia pertanian, termasuk penggunaan pestisida dan pupuk. Saat ini, sumber utama pencemaran tanah adalah tumpukan logam berat, termasuk seng (Zn), tembaga (Cu), sianida (Cn), timbal (Pb), kadmium (Cd), merkuri (Hg), dan kadmium (Cd). Pencemaran merkuri tanah secara khusus menimbulkan tantangan besar terhadap degradasi dan dapat memengaruhi ketahanan pangan. Tiga komponen penting adalah air, udara, dan tanah. Misalnya, polutan atmosfer seperti karbon dioksida, nitrogen oksida, dan sulfur oksida dapat larut dalam air hujan dan jatuh ke tanah dalam bentuk hujan asam, menyebabkan pencemaran tanah. Ini dapat menyebabkan pencemaran tanah. Air permukaan juga tercemar oleh logam berat ketika limbah industri, pertanian, atau sumber limbah lainnya, termasuk sampah rumah tangga, masuk ke tanah dan mencemari tanah. Secara khusus, pencemaran dari kegiatan industri dan pertambangan dapat terjadi di sektor pertanian, sementara sisa-sisa dari praktik pertanian, seperti pestisida dan pupuk, berasal dari sumber non pertanian. Banyaknya industri yang terletak di sekitar sawah merupakan salah satu penyebab utama pencemaran sawah. Terdapat bukti pencemaran logam berat, termasuk tembaga, timbal, merkuri, dan beberapa unsur logam berat lainnya, di beberapa tempat di pulau Jawa yang sangat penting untuk pertanian. Logam berat esensial dan non-esensial terdiri dari dua kategori. Menurut Hamzah dan Priyadarshini (2019), logam berat non-esensial, seperti As, Cd, Hg, Pb, dan Cr, tidak diperlukan oleh organisme hidup untuk menjalankan proses fisiologis dan biokimia mereka. Sebaliknya, logam berat esensial, seperti Mn, Cu, Zn, Fe, dan Ni, diperlukan untuk menjalankan proses fisiologis dan biokimia mereka. Gambar

15 menunjukkan bahwa industri menghasilkan sebagian besar limbah cair yang mengandung logam berat.



Gambar 15. Pencemaran tanah dan air sungai oleh Industri

Sumber: <https://www.google.com/search?q=gambar+pencemaran+dari+industri&safe>

Mengetahui sumber pencemar di pertanian memungkinkan kita untuk melakukan upaya pencegahan dan penanggulangan secara komprehensif. Beberapa bahan pencemar di bidang pertanian berasal dari agrokimia, seperti pupuk dan pestisida. Dalam pertanian, dikenal pupuk hara makro dan mikro. Makronutrien seperti N, P, K, Ca, Mg, C, H, dan O mudah ditemukan di alam dan penting untuk proses fotosintesis, yang merupakan cara tanaman memperoleh energi. Mikronutrien seperti S, Zn, Co, Fe, Al, dan Si hanya diperlukan dalam jumlah kecil, tetapi dapat mematikan tanaman jika terlalu banyak digunakan.

Tanah mengandung pupuk nitrogen NH_4 dan NO_3 , yang sangat mobil. Kandungan nitrogen banyak hilang akibat *run-off* atau erosi dan sebagian lagi mengalami penguapan. Eutrofikasi dapat terjadi karena nitrogen yang telah hilang atau terlindi ke badan air. Berbagai pupuk organik dan anorganik mengandung logam berat. Logam berat juga ditemukan dalam batuan fosfat yang terjadi secara alami merupakan titik awal untuk pupuk fosfat (Tabel 7). Sawah di Kota Bogor, Jawa Barat, memiliki tingkat pencemaran Pb dan Cd yang tinggi karena limbah industri. Tanah menunjukkan konsentrasi Cd 0,3 ppm, konsentrasi Pb 0,2 ppm, dan konsentrasi

Cd 1,5 ppm. Semua nilai ini mendekati ambang batas kritis yang ditetapkan WHO, yaitu Pb 2 ppm dan Cd 0,24 ppm.

Tabel 7. Kadar logam berat dalam beberapa jenis pupuk anorganik dan organik

Logam Berat	Pupuk P	Pupuk N	Pukan	Kapur	Kompos
----- Mg kg ⁻¹ -----					
Arsen	2 - 1.200	2,2 - 120	0,3 - 25	0,1 - 25	2 - 52
Boron	5 - 115	-	0,3 - 0,6	10	-
Kadmium	0,1 - 170	0,05 - 8,5	0,1 - 0,8	0,04 - 0,1	0,01 - 100
Kobal	1 - 12	5,4 - 12	0,3 - 24	0,4 - 3	-
Kromium	66 - 245	3,2 - 19	1,1 - 55	10 - 15	1,8 - 4.110
Tembaga	1 - 300	-	2 - 172	2 - 125	13 - 3.580
Raksa	0,01 - 1,2	0,3 - 2,9	0,01 - 0,36	0,05	0.09 - 21
Timah (<i>lead</i>)	40 - 2.000	-	30 - 969	40 - 1.200	-
Mangan	0,1 - 60	1 - 7	0,05 - 3	0,1 - 115	-
Molibdenum	7 - 38	7 - 34	2,1 - 30	0 - 20	0,9 - 279
Nikel	7 - 225	227	1,1 - 27	20 - 1.250	1,3 - 2.240
Timah hitam	<100	-	-	-	-
Selenium	0,5	-	2,4	0,08 - 0,1	-
Uranium	30 - 300	-	-	-	-
Vanadium	2 - 1.600	-	-	20	-
Seng	50 - 1.450	1 - 42	15 - 566	10 - 450	82 - 5.894

Sumber: Setyorini et al, (2003)

Secara umum, beberapa penyebab pencemaran tanah melibatkan aktivitas yang tidak ramah lingkungan, yang dapat mempengaruhi tanah, air, dan udara. Salah satu bahan pencemar utama adalah logam berat. Tanah yang tercemar logam berat dapat berdampak negatif pada kesehatan tanaman dan manusia. Berikut adalah beberapa penyebab pencemaran tanah yang sering terjadi dan belum sepenuhnya teratasi:

- Limbah Padat Industri: Limbah industri yang masih berupa bubur kertas, kertas, rayon, ikan, daging, tripleks, dan manisan buah adalah contoh sampah industri.
- Limbah Cair: Jenis Limbah cair ini berasal dari residu dari pengolahan logam dan limbah kimia. Ini berbahaya bagi kesehatan manusia, terutama jika mengandung zat yang berbahaya.
- Limbah Anorganik: Barang-barang yang tidak dapat diuraikan oleh mikroorganisme, seperti kantong plastik, kaleng, botol minuman, dan botol air mineral bekas, termasuk dalam kategori sampah ini. Untuk mencegah pencemaran tanah dan bahaya bagi organisme hidup, sampah ini harus ditangani secara khusus.
- Limbah Organik: Limbah organik seperti feses, oli, cat, dan sampah tanaman rumah tangga dapat diuraikan oleh mikroorganisme, yang membuatnya lebih ramah lingkungan. Sebaliknya, sampah organik yang berlebihan dapat memperlambat proses penguraian dan menghambat pertumbuhan tanaman.
- Limbah industri: Limbah padat, cair, organik, atau anorganik dapat berasal dari berbagai sumber industri, seperti perusahaan, penginapan, restoran, pasar, lokasi wisata, dan organisasi.
- Limbah Pertanian: Penggunaan pestisida dan pupuk yang berlebihan di pertanian dapat mengkontaminasi tanah. Penggunaan yang berlebihan ini dapat menurunkan kualitas tanah dan membahayakan hasil pertanian jika melebihi batas yang disarankan.

Beberapa sumber pencemaran di atas perlu diwaspadai, karena akumulasinya dalam jangka waktu yang lama akan sangat berbahaya bagi kelangsungan hidup makhluk hidup termasuk manusia. Rodríguez *et al*, (2018), Pencemaran yang diakibatkan oleh kegiatan antropogenik yang berlangsung selama berabad-abad telah menghasilkan pencemaran tanah dan meluas sampai ke seluruh dunia. Sumber antropogenik utama dari pencemaran tanah adalah bahan

kimia yang digunakan sebagai produk sampingan dari kegiatan industri, limbah rumah tangga dan kota, termasuk air limbah, bahan kimia pertanian, dan produk turunan bensin (FAO dan ITPS, 2015). Bahan kimia yang terlepas ke lingkungan secara tidak sengaja, misalnya dari tumpahan minyak atau pencucian dari tempat pembuangan sampah, atau dengan sengaja, seperti halnya penggunaan pupuk dan pestisida, irigasi dengan air limbah yang tidak diolah, atau penggunaan limbah di lahan lumpur merupakan penyebab utama pencemaran tanah.

C. Efek Pencemaran Tanah

Tanah merupakan penyangga kehidupan, namun jika tercemar akan mengancam kehidupan di bumi. Beberapa sumber menyebutkan bahwa pencemaran tanah dapat secara langsung mengurangi tingkat kesuburan tanah dan memicu pencemaran lain. Salah satu contoh pencemaran tanah pada lahan pertanian sebagaimana disajikan pada Gambar 16 di bawah ini. Gambar tersebut menunjukkan bahwa tanah yang sebelumnya subur untuk pertanian kini telah mengalami kehilangan fungsi.



Gambar 16. Dampak pencemaran tanah yang mengakibatkan tanah kehilangan fungsi

Dampak jangka panjang dari pencemaran tanah dapat menurunkan kualitas hasil panen, serta memicu penyakit kronis seperti

diare, malnutrisi, kerusakan ginjal, kerusakan hati, dan berbagai penyakit lainnya.

1. *Dampak pencemaran tanah terhadap rantai makanan*

Populasi dunia yang diprediksi lebih dari sembilan miliar pada tahun 2050 akan membutuhkan penyediaan pangan dan air yang cukup tinggi dengan kualitas baik untuk mendukung kesehatan manusia (Mc Bratney, et al., 2014). Hanya tanah yang sehat yang mampu menyediakan itu karena 95 persen produksi pangan bergantung pada tanah. Ketahanan pangan diartikan sebagai “ke-tersediaan, akses, pemanfaatan dan stabilitas persediaan makanan”. Pencemaran tanah mengurangi ketahanan pangan baik dengan mengurangi hasil panen karena ke tingkat racun kontaminan dan dengan menyebabkan tanaman yang diproduksi menjadi tidak aman untuk dikonsumsi.

Masuknya polutan secara langsung maupun tidak langsung telah banyak dilaporkan oleh para ahli. *Input* pertanian seperti pupuk, pestisida, antibiotik yang terdapat pada hewan pupuk kandang atau yang digunakan untuk pencegahan penyakit dan pengobatan infeksi pada tanaman merupakan polutan potensial utama di lahan pertanian dan menimbulkan tantangan khusus karena formula kimia yang cepat berubah. Intensifikasi pertanian untuk menghasilkan pangan yang cukup, serat dan biofuel telah menjadi warisan tanah yang tercemar. Di Cina, kandungan logam berat telah meningkat pesat di 30 tahun terakhir, dengan nilai antara 48 % untuk Zn hingga lebih dari 250 % untuk Cd jika dibandingkan tahun 1990-an (Bian et al, 2014). Namun, transfer polutan dari tanah ke tanaman belum dipahami dengan baik sehingga perlu pembuktian secara ilmiah. Bukti ilmiah tersebut akan mendorong praktik-praktik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan dan meninggalkan pendekatan yang lebih berorientasi bisnis.

Praktik pertanian modern dengan intensifnya menggunakan pupuk dan pestisida yang berlebihan turut mempercepat pencemaran

tanah. Ketika polutan mencapai kadar tinggi di dalam tanah, tidak hanya terjadi proses degradasi tanah saja, tetapi produktivitas tanaman juga dapat terpengaruh. Karena itu, selain membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan, juga dapat menyebabkan pencemaran tanah dan kerugian ekonomi karena produksi menurun. Kelebihan N dalam tanah telah diidentifikasi sebagai penyebab utama pengasaman tanah dan salinisasi melalui nitrifikasi dan proses transformasi N lainnya. Pengasaman tanah yang terjadi secara alami terjadi sangat lambat bisa ratusan hingga jutaan tahun, tetapi proses ini secara signifikan dipercepat oleh praktik pertanian, terutama pemupukan N yang berlebihan, yang menyebabkan penurunan pH tanah. Sifat antropogenik pemupukan N, yang menyebabkan pengasaman tanah pertanian di Tiongkok, adalah penyebab utama pengasaman, yang menyebabkan 10 hingga 100 kali lebih banyak daripada pengendapan asam (Bian et al., 2014).

2. *Dampak pencemaran tanah terhadap kesehatan*

Seberapa parah penyakit yang disebabkan oleh polusi tanah dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis polutan, bagaimana polutan masuk ke dalam tubuh, dan kepekaan masyarakat terhadapnya. Misalnya, kromium adalah salah satu dari banyak pestisida dan herbisida yang mengandung logam berat, yang selain bersifat karsinogenik, dapat membahayakan ginjal dan otak anak. Paparan benzena dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko leukemia. Paparan merkuri dapat merusak ginjal, terkadang tidak dapat disembuhkan. Hati, ginjal, dan sistem saraf pusat dapat dipengaruhi oleh pelarut yang mengandung klorin. Konsekuensi kesehatan yang mungkin terjadi termasuk sakit kepala, pusing, kelelahan, ketidaknyamanan mata, dan ruam kulit. Dosis tinggi dapat mematikan. Berikut ini adalah beberapa risiko kesehatan yang disebabkan oleh polusi:

- Kromium: Bahan ini, yang ditemukan dalam banyak pestisida dan herbisida, berpotensi menyebabkan kanker pada semua makhluk hidup, termasuk manusia.
- Timbal dan benzena: Paparan jangka panjang terhadap konsentrasi tinggi meningkatkan kemungkinan kanker otak dan penyakit ginjal. Selain efek negatif ini, polusi tanah dapat menyebabkan ruam kulit, kehilangan pendengaran, kelelahan, dan masalah lainnya pada sistem saraf pusat otak.
- Merkuri: dapat menyebabkan penyakit ginjal yang tidak dapat disembuhkan dan masalah ginjal yang serius.
- Siklodinia: dapat menyebabkan infeksi dan kerusakan hati.
- Karbamat: dapat menyebabkan penyakit saraf yang memengaruhi otot, menyulitkan gerakan. Dosis yang sangat tinggi dapat mematikan.

3. *Dampak pencemaran tanah terhadap ekosistem*

Polusi tanah dapat mempengaruhi ekosistem. Keberadaan bahan berbahaya atau beracun dalam tanah dapat menyebabkan perubahan radikal dalam kimia tanah, bahkan pada konsentrasi rendah. Modifikasi ini dapat mengubah metabolisme mikroorganisme dan artropoda endemik yang hidup di lingkungan tanah. Bahkan dapat menyebabkan penghilangan beberapa spesies penting dari rantai makanan, membahayakan predator dan anak tangga rantai makanan lainnya. Meskipun efek kimia pada bentuk kehidupan terendah sangat kecil, bagian bawah piramida makanan dapat menelan bahan kimia asing yang pada akhirnya akan terkonsentrasi pada spesies di piramida teratas. Saat ini, DDT memiliki banyak efek negatif, seperti peningkatan angka kematian anak ayam, peluang kepunahan spesies, dan konsentrasi DDT pada burung yang menyebabkan kulit telur rapuh.

Efek utama terhadap pertanian adalah perubahan metabolisme tanaman, yang pada akhirnya dapat menyebabkan hasil pertanian

yang lebih rendah. Ketika tanaman tidak dapat mencegah erosi tanah, hal ini dapat berdampak pada konservasi tanaman lainnya. Pada saat yang berbeda, polutan tanah primer akan menghasilkan senyawa turunan, sedangkan polutan tertentu memiliki waktu paruh yang panjang. Polusi tanah dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan meningkatkan risiko erosi tanah karena hilangnya daya tahan. Polusi jangka panjang juga dapat mencemari tanah secara permanen, membuatnya tidak layak untuk pertanian. Oleh karena itu, petani disarankan untuk menghindari penggunaan bahan kimia berlebihan, seperti pestisida dan pupuk. Penggunaan yang berlebihan mencemari tanah dan membunuh hama.

PENANGGULANGAN PENCEMARAN TANAH

Selama ini, pengendalian pencemaran tanah, terutama pada tanah pertanian, sering kali kurang mendapat perhatian dibandingkan dengan pencemaran air. Padahal, kedua aspek tersebut sama pentingnya dan harus ditangani secara seimbang. Tanah sebagai sumber pangan seharusnya mendapatkan perhatian serius karena berhubungan langsung dengan kesehatan pangan dan kesehatan manusia. Lahan pertanian yang tercemar, terutama oleh logam berat, akan menghasilkan produk pertanian yang juga tercemar. Seperti yang diuraikan pada bab sebelumnya, penyebab utama pencemaran pada lahan pertanian adalah penggunaan pupuk dan pestisida yang melebihi batas. Oleh karena itu, pengendalian pencemaran tanah pertanian perlu mendapatkan perhatian yang lebih serius.

Prinsip dasar dalam pengendalian pencemaran tanah adalah penentuan nilai ambang batas atau batas kritis logam berat. Tujuan dari penetapan batas ini adalah untuk meminimalisir tingkat pencemaran hingga mencapai tingkat yang dapat ditoleransi, sehingga produk pangan yang dihasilkan dari lahan tercemar aman untuk dikonsumsi. Batasan unsur logam berat yang aman dikonsumsi dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Batas kritis logam berat dalam tanah, air, tanaman dan beras.

Unsur Logam Berat	Tanah*	Air**	Tanaman***	Beras/tepung****
----- mg kg ⁻¹ -----				
Pb	100	0,03	50	1.0
Cd	0,50	0,05-0,10	5-30	0,5
Co	10	0,4-0,6	15-30	-
Cr	2,5	0,5-1,0	5-30	-
Ni	20	0,2-0,5	5-30	-
Cu	60-125	2-3	20-100	10
Mn	1.500	-	-	-
Zn	70	5-7	100-400	40

Keterangan:

* Ministry of State for Population and Environment of Indonesia, and Dalhousie University, Canada, (1992).

** Pemerintah Republik Indonesia (1990).

*** Alloway (1993)

**** Direktorat Jenderal Pengawasan Obat dan Makanan (1989).

Badan Standar Nasional juga mengeluarkan batas Maksimum cemaran logam berat dalam pangan. Pangan yang tercemar dan melampaui batas maksimal yang ditetapkan dilarang digunakan dalam proses produksi pangan (SNI 7387, 2009). Batas maksimum beberapa produk pangan disajikan pada Tabel 9.

Tabel 9. Batas maksimum cemaran logam berat

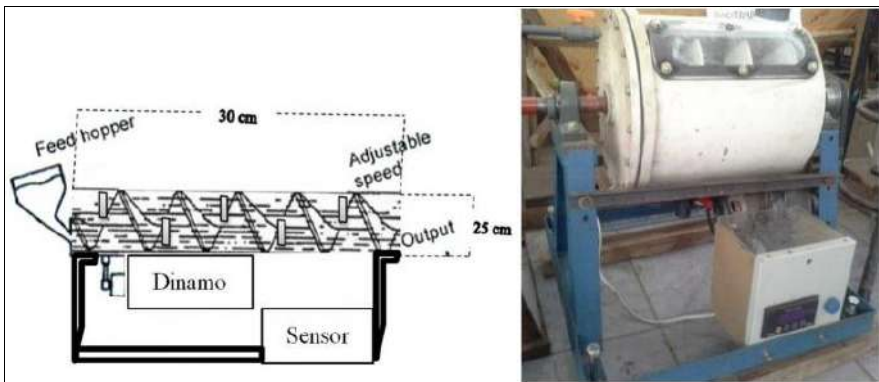
Jenis Logam Berat	Buah dan sayur	Beras / tepung beras
----- mg kg ⁻¹ -----		
Arsen (As)	1,0,	-
Kadmium (Cd)	0,2	0,4
Merkuri (Hg)	0.03	0,05
Timbal (Pb)	0,5	0,3

Sumber: BSN (2009)

Dengan melihat tingginya logam berat baik berasal dari tanah maupun tanaman, maka perlu dilakukan remediasi atau pembersihan. Remediasi tanah dilakukan dengan beberapa metode, metode fisik, kimia dan biologi, dan diuraikan sebagai berikut:

A. Remediasi Tanah Secara Fisik

Remediasi secara fisik, sudah banyak dilakukan oleh peneliti diantaranya sistem injeksi. Metode ini bertujuan menyuntikan kembali tanah yang tercemar termasuk limbah yang dihasilkan dari industri atau tailing dari tambang ke dalam tanah dengan tujuan menghindari penyebaran polutan pada media tanah. Salah satu teknologi terbaru yang dikembangkan oleh Agus Jatnika Effendi, adalah *Soil washing*. Teknologi ini digunakan untuk memulihkan tanah yang tercemar agar bisa kembali ke kondisi awal. Kelebihan dari teknologi *Soil washing* adalah mampu memulihkan tanah dalam jangka waktu yang singkat. Secara singkat alat *Soil washing* disajikan pada Gambar 17.



Gambar 17. Alat Soil Washing

Sumber : <https://www.itb.ac.id/berita/detail/57283/pulihkan-tanah-tercemar-soil-washing>

Teknologi *soil washing* bukanlah teknologi yang berdiri sendiri, tetapi juga terintegrasi dengan proses pencucian air (*water wash*)

yang dipakai dalam pencucian tanah, sehingga bisa digunakan kembali. Jenis polutan yang dibersihkan meliputi cemaran minyak bumi dan logam berat. Namun teknologi ini cukup mahal antara 100 – 200 USD per m³ dibandingkan teknologi bioremediasi yang hanya sekitar 20 – 80 USD per meter kubik (m³).

Teknologi remediasi secara fisik dan kimia, telah banyak diungkapkan oleh beberapa peneliti dan agak mahal jika dibandingkan dengan teknologi fitoremediasi. Penelitian tentang fitoremediasi tanah hanya menelan biaya antara \$2.500 dan \$15.000 per ha, tetapi pembersihan dan pemulihan satu tumpahan tailing di tambang skala besar di Indonesia akan menelan biaya sekitar US\$100 juta (McMahon et al., 2000).

B. Teknologi Fitoremediasi

Upaya untuk membersihkan tanah yang terkontaminasi dengan polutan dikenal sebagai fitoremediasi. Menurut EPA (2000), kata-kata ini berasal dari kata-kata Latin "*phyto*", yang berarti "tanaman", dan "*remidium*", yang berarti "memperbaiki", dan mengacu pada sistem di mana mikroorganisme dan tanaman bekerja sama untuk mengubah polutan berbahaya menjadi polutan yang tidak berbahaya. Zynda (2001), Fitoremediasi memiliki kelebihan dapat bekerja pada senyawa organik dan anorganik, prosesnya bisa secara insitu maupun eksitu, mudah diterapkan dan murah jika dibandingkan dengan teknik remediasi lain. Teknologinya ramah lingkungan, serta dapat mereduksi kontaminan dalam skala besar (Zynda, 2001). Kelebihan lainnya yaitu mampu mencegah pelepasan polutan di daerah rizosfer (Schroder et al., 2002).

Sudah banyak peneliti yang membuktikan bahwa fitoremediasi sangat efektif untuk memperbaiki dan mengembalikan kondisi tanah dan air yang terkontaminasi polutan baik organik maupun anorganik. Siregar dan Siregar (2010), membuat ringkasan mekanisme fitore-

mediasi pada berbagai tanaman sebagaimana disajikan pada tabel berikut:

Tabel 10. Mekanisme fitoremediasi

Mekanisme	Tanaman	Tujuan	Media	Kontaminan
Fitoekstraksi	Indian mustard, pennycress, allysum, bunga matahari, poplar	Ekstraksi kontaminan	Tanah, sedimen, lumpu	Cd, Pb, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Zn.
Rhizofiltrasi	Air tanah, air permukaan	Ekstraksi kontaminan dan menangkapnya	Metals radionuclides	Sunflowers, Indian mustard, tanaman air
Fitostabilisasi	Tanah, sedimen, lumpur	Menyimpan kontaminan	As, Cd, Cr, Cu, Hs, Pb, Zn	Indian mustard, rumput, tanaman poplar hybrid
Rhizodegradasi	Tanah, sedimen, lumpur, air tanah	Menghancurkan kontaminan	Bahan organik (TPH, PAHs, pestisida, larutan khlor, PCBs)	Red mulberry, rumput, tanaman poplar hybrid, cattail, padi
Fitodegradasi	Tanah, sedimen, lumpur, air tanah, air permukaan	Menghancurkan kontaminan	Bahan organik larutan khlor,, herbisida, mesiu	Algae, lulut batu, poplar hybrid, black willow, bald cypress
Fitovolatilisasi	Air tanah, sedimen, tanah, lumpur	Mengekstrak lalu menguapkan kontaminan	Larutan khlor, bahan anorganik (Se, Hg, As)	Poplar, alfalfa blacklocust, Indian mustard

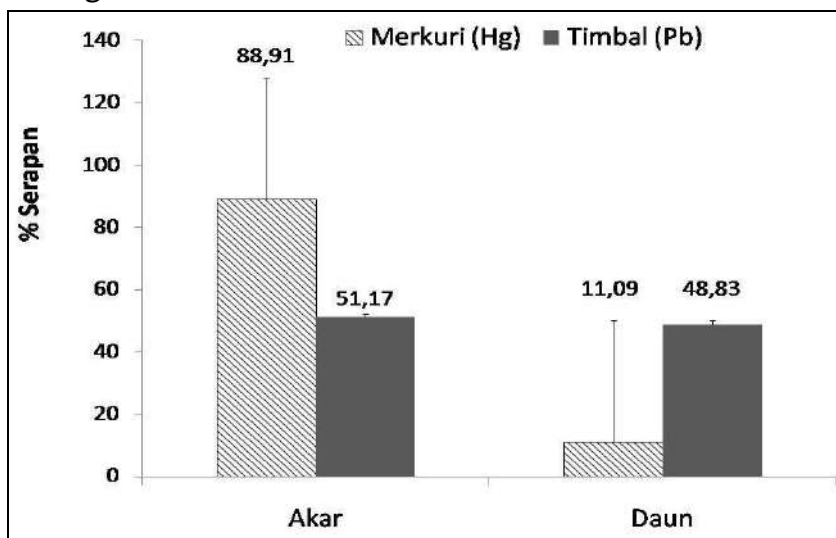
Sumber : Siregar dan Siregar, (2010)

Penelitian mengenai penggunaan tanaman sebagai remediator saat ini semakin intensif. Menurut Ghosh dan Singh (2005), tumbuhan yang dapat berfungsi sebagai remediator memiliki beberapa karakteristik, termasuk sifat hipertoleran, yang memungkinkannya menyerap logam berat dalam jumlah besar; tingkat penyerapan

logam berat yang tinggi selama pertumbuhan; dan (c) kemampuan untuk mengalihkan logam berat dari akar ke bagian atas tumbuhan, yaitu daun dan batang. Meskipun demikian, tanaman remediator sering mengalami pertumbuhan yang lambat. Penyerapan logam berat yang tinggi menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi terhambat (Chaney et al., 2008).

Sebagai contoh, tanaman sawi pahit (*Brassica juncea*) dapat menyerap logam berat seperti Zn dan Cd hingga mencapai 500 mg/kg dan menghasilkan biomassa kering sebesar 20 ton/ha per musim tanam. Namun, sawi pahit hanya menghasilkan biomassa sebesar 10 ton/ha dan menyerap Zn sebanyak 5 kg/ha, menunjukkan bahwa jumlah penyerapan logam berat jauh melebihi produksi biomassa.

Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) yang dikombinasi dengan ferrous sulfate (FeSO_4) dapat menyerap logam berat Pb dan Hg dengan efisiensi 88,91% dan 51,17% pada akar, dan 11,09% dan 48,83% pada daun, masing-masing (Hamzah, 2012) (Gambar 18). Proses ini dilakukan di tanah yang telah tercemar oleh tailing tambang emas.



Gambar 18. Serapan Hg dan Pb pada Tanaman *V. zizainoides*

Selain akar wangi, beberapa tumbuhan liar yang dapat menjadi gulma juga dapat berfungsi sebagai tanaman remediator, diantaranya *Chromolaena odorata*, *Eleusine indica* serta *Rorippa sylvestris*. Ketiga jenis tumbuhan ini tumbuh liar di lingkungan kita. *Chromolaena odorata* dilaporkan mampu menyerap logam berat Pb sebesar 45,4% dan Hg sebesar 7,3%. *Eleusine indica*, anggota famili rumput-rumputan, mampu menyerap lebih dari 70% logam berat Pb dan Cd. Tumbuhan *Rorippa sylvestris* juga melakukan hal yang sama (Hamzah et al., 2019). Hal ini menunjukkan bahwa di sekitar kita terdapat banyak sekali tumbuhan-tumbuhan yang berpotensi menjadi tanaman remediator untuk mereduksi logam berat.



Gambar 19. Tanaman *Vetiveria zizanioides*

Tanaman-tanaman di atas memiliki daya adaptasi yang tinggi serta sistem perakaran yang masif, sehingga mampu mereduksi logam berat dalam jumlah yang signifikan. Tiga jenis tersebut pada Gambar 20 merupakan tumbuhan liar yang tumbuh di sekitar areal pertanian dan menjadi musuh bagi petani, namun dengan diketahuinya memiliki potensi sebagai tanaman remediator maka perlu dimanfaatkan untuk mengendalikan pencemaran logam berat terutama pada lahan pertanian yang menggunakan pupuk dan pestisida secara intensif.



Chromolaena odorata



Eleusine indica



Rorippa sylvestris

Gambar 20. Jenis tanaman liar yang memiliki potensi sebagai tanaman remediator

Sebagian besar spesies tanaman ini berbeda dalam cara mereka menyerap logam berat, meskipun mereka sangat kuat menyerap logam berat. Toleransi dan karakteristik morfologi tanaman menentukan variasi ini. Tanaman seperti akar wangi (*V. zizanioides*) dan anggota famili rumput-rumputan (*E. indica*) memiliki sistem akar yang mampu melakukan fitoekstraksi. Logam berat yang diserap oleh akar tanaman selama proses ini akan dipindahkan ke tajuk tanaman, di mana mereka didaur ulang atau dibuang setelah tanaman dipanen (Hamzah et al., 2019).

Hamzah et al. (2023) melaporkan bahwa pemberian biochar yang dilapisi kitosan (Biosan) dapat mereduksi logam berat Pb sebesar 39,65% dan Cu sebesar 37,78%. Hasil ini lebih rendah dibandingkan dengan penelitian sebelumnya oleh Hamzah et al. (2022), dimana pemberian biochar yang dilapisi asam humat (Bicomat) pada dosis 10 ton/ha mampu mereduksi Pb 26,23% - 58,77%, serta Cu 56,12% - 89,96%. Ini menunjukkan bahwa baik biochar yang dilapisi asam humat maupun kitosan dapat berfungsi sebagai remediator logam berat pada tanah tercemar dan memperbaiki produktivitas tanah. Meskipun reduksi Pb oleh kedua bahan

tersebut tidak jauh berbeda, penggunaan Bicomat menunjukkan efektivitas yang jauh lebih tinggi dalam mereduksi logam berat Cu dibandingkan dengan Biosan. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan bahan pelapis antara asam humat dan kitosan dalam mereduksi logam berat Cu.

Logam berat yang mengelilingi akar kemudian dipindahkan ke pucuk, batang, dan daun tanaman selama proses sekuestrasi dan detoksifikasi. Seberapa banyak penumpukan logam berat yang akan terjadi di masing-masing bagian tanaman dipengaruhi oleh sifat fisiologis dan molekuler tanaman. Tanaman dapat membersihkan tanah yang tercemar jika tanaman memenuhi tiga kriteria berikut: (1) logam berat diserap oleh akar tanaman; (2) polutan terikat secara kimiawi dan fisik ke dalam jaringan tanaman; dan (3) polutan diangkut dari akar ke bagian atas tanaman, mencegah atau menghambat polutan untuk hanyut dari tanah (Alberto dan Sigua, 2013). Logam berat, seperti timbal (Pb) dan kadmium (Cd), diserap ke dalam simplasma akar dan kemudian dibawa ke xilem dalam tiga tahap. Mereka disimpan dalam sel akar, ditransfer ke stele, dan dilepaskan melalui protein transportasi membran yang dimediasi ke xilem.

C. Teknologi Bioremediasi

Bioremediasi adalah proses yang digunakan untuk menghilangkan kontaminasi logam berat dari tanah dengan menggunakan mikroorganisme atau agen biologis lainnya. Teknologi ini sebenarnya juga cukup berkembang selain teknologi fitoremediasi. Pilihan penggunaan mikroba untuk mengatasi logam berat karena di dunia termasuk Indonesia cukup tersedia agen hayati tersebut. Cookson (1995) mendefinisikan bioremediasi sebagai proses biologi untuk mengolah tanah, air tanah dan lumpur yang terkontaminasi bahan kimia berbahaya. Namun dalam perkembangannya bioremediasi lebih diarahkan pada penggunaan mikroorganisme untuk member-

sihkan senyawa pencemar dengan mekanisme proses peruraian, degradasi, detoksifikasi dan penyerapan (Rahayu, 2005).

Empat komponen penting yang harus dipertimbangkan selama prosedur bioremediasi:

1. **Stimulasi Aktivitas Mikroorganisme Asli:** yaitu melibatkan penambahan nutrisi, pengaturan kondisi redoks, dan optimasi pH untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme yang sudah ada di lokasi tercemar.
2. **Inokulasi Mikroorganisme (Penanaman):** mikroorganisme dengan kemampuan biotransformasi khusus di lokasi tercemar.
3. **Penerapan Enzim Terimobilisasi:** Menggunakan enzim yang telah diikat pada suatu matriks untuk mengatasi pencemar.
4. **Penggunaan Tanaman (Fitoremediasi):** Menggunakan tanaman untuk menghilangkan atau mengubah pencemar di lingkungan.

Bioremediasi mencakup beberapa jenis, termasuk biostimulasi, bioaugmentasi, dan bioremediasi intrinsik. Faktor utama yang mempengaruhi proses bioremediasi adalah keberadaan mikroba yang mampu menurunkan polutan, serta lingkungan yang mendukung seperti kondisi tanah, pH, oksigen, dan nutrisi (Vidali, 2001). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian telah menggunakan jamur *Penicillium simplicissimum* dan *Eupenicillium brefeldianum*, serta bakteri *Pseudomonas putida* dan *Enterobacter aerogenes*, untuk meremediasi logam berat merkuri. Bakteri-bakteri ini resisten terhadap sejumlah logam berat, termasuk Cd, Cu, Cr, dan Pb, serta merkuri dalam konsentrasi tinggi. Selain itu, mikroorganisme ini melarutkan fosfor, mengikat nitrogen, dan menghasilkan hormon pertumbuhan (Balittanah, 2020).

Setelah diterapkan pada air sungai yang terkontaminasi merkuri, formula bioremediasi ini secara efektif mengurangi jumlah merkuri di dalam air dan menciptakan lingkungan yang menguntungkan untuk berbagai biota, termasuk cyanobacteria pengikat nitrogen.

Campuran ini aman untuk digunakan karena tidak berbahaya bagi tanaman atau hewan.

D. Penyerapan dan Reduksi Logam Berat oleh Tanaman Remediator

1. Teknologi fitoremediasi pada lahan pertanian yang tercemar bahan agrokimia dapat memanfaatkan tanaman remediator dari golongan rumput seperti *Eleusine indica* dan gulma berdaun lebar seperti *Euphorbia hirta*. Kedua tanaman ini terbukti efektif dalam mengendalikan logam berat Pb dan Cd, seperti yang dilaporkan di Sentra Hortikultura. Keberhasilan fitoremediasi dapat diukur dari perbaikan kualitas tanah, yang tercermin dalam reduksi logam berat di tanah. Reduksi ini sangat bergantung pada kondisi tanah, terutama kandungan bahan organik. Tanah dengan kandungan bahan organik yang tinggi akan meningkatkan penyerapan logam berat. Logam berat ini selanjutnya diserap ke akar, batang, daun, bunga, buah, dan biji tanaman setelah terserap. Akumulasi logam berat pada tanaman dapat terjadi di berbagai organ, bergantung pada jenis logamnya. Misalnya, Cd dapat terakumulasi di dinding sel, Zink dapat terakumulasi dalam vakuola, dan Ni dapat terakumulasi dalam kloroplas.
2. Biochar adalah bahan organik yang berfungsi sebagai pembenah tanah dan berperan penting dalam akumulasi logam berat. Bahan organik tanah diproduksi ketika sisa-sisa tanaman atau bahan hidup dipecah oleh mikroba atau proses degradasi kimia. Kemampuan mereka untuk mengikat logam berat menurunkan ketersediaan hayati logam berat. Tetapi keberadaan gugus fungsional dalam asam organik dapat bermanfaat jika ditemukan dalam bahan organik seperti tanah. Ini karena asam organik dapat membuat kompleks organo-logam atau kelat, yang meningkatkan mobilitas logam berat dalam larutan tanah. Adanya

konsentrasi logam berat yang tinggi di dalam tanah, biochar dianggap berguna untuk digunakan pada tanah yang terkontaminasi karena dapat meningkatkan kualitas fisik, kimia, dan biologi tanah sekaligus mempercepat penyerapan logam berat.

3. Penggunaan biochar untuk meningkatkan kualitas tanah memiliki dua tujuan utama, menurut beberapa penelitian yang diterbitkan oleh Atkinson et al. (2010): (1) meningkatkan retensi, ketersediaan, dan penyimpanan air nutrisi; dan (2) mendorong perkembangan bakteri simbiotik. Aplikasi jangka panjang biochar dapat meningkatkan produktivitas tanaman, terutama di tanah marginal seperti tanah asam. Namun, menurut Jeffery et al. (2011) dan Spokas et al. (2012), penerapan biochar pada tanah berkualitas tinggi dengan pH netral tidak membuahkan hasil di Amerika Tengah-Barat. Selain itu, penggunaan biochar di lahan pertanian mengurangi emisi CO₂ dan NO_x serta memiliki kemungkinan untuk menyimpan karbon dalam jumlah besar dan dalam jangka waktu yang lama (52,8%). Studi ini menunjukkan bagaimana biochar yang dibuat dari sekam padi dan limbah tembakau dapat meningkatkan kualitas tanah dan mendorong pertumbuhan tanaman remediator seperti *Euphorbia hirta* dan *Elesina indica*. Dengan pertumbuhan tanaman remedial dan peningkatan kualitas tanah, penyerapan Pb dan Cd meningkat, yang mengakibatkan penurunan konsentrasi logam berat di dalam tanah. Dengan penurunan kadar logam berat yang signifikan ini, tanah yang tercemar dapat lebih mudah dibersihkan. Penanaman kembali tanaman pangan untuk mengukur penumpukan logam berat di jaringan tanaman diperlukan untuk melindungi kesehatan tanaman.
4. Dengan melihat seberapa banyak setiap tanaman mengurangi logam berat, kita dapat mengetahui kesehatan tanah. Analisis menunjukkan bahwa tanaman karmila (*Rorippa sylvestris*) dan lunggan (*Eleusine indica*) dapat mengurangi logam berat lebih

dari 75% setelah penanaman kedua. Jumlah Pb turun hingga 78,36% dengan biochar dari sekam padi pada tanaman *Eleusine indica* dan 84,15% dengan biochar dari sampah tembakau (jengkok). Perlakuan biochar Jengkok mengalami penurunan terendah dengan 76,12%. Penggunaan kedua jenis tanaman remediator tersebut dan penyediaan biochar yang terbuat dari sekam padi dan jengkok, logam berat Pb dan Cd menurun dari 80%. Ini disebabkan oleh fakta bahwa kedua jenis tanaman remediator tersebut dapat dengan mudah menyesuaikan diri dengan tanah yang tercemar. Tanaman remedial lebih mampu mengembangkan dan menyerap logam berat dalam kondisi tanah yang lebih baik (Priyadarshini et al., 2020).

5. Kekhawatiran tentang bahaya logam berat dapat dikurangi karena jumlah logam berat yang tersisa di dalam tanah sangat sedikit. Namun, karena bahaya logam berat yang signifikan bagi kesehatan manusia, diperlukan pemantauan terus menerus. Logam berat Cd terkadang lebih mudah diserap tanaman daripada logam berat lainnya seperti timbal. Namun, Cd, yang merupakan salah satu dari "tiga logam berat terbesar", sering bercampur dengan timbal dan merkuri, menimbulkan bahaya yang signifikan bagi kesehatan manusia (Widaningrum et al., 2007). Waseem et al. (2014) menyatakan bahwa kadmium adalah salah satu bentuk logam berat yang dianggap xenobiotik. Ini disebabkan oleh fakta bahwa logam ini memiliki fungsi fisiologis yang sangat sedikit dan bahkan lebih berbahaya karena merupakan logam beracun yang merusak tumbuhan, hewan, dan manusia.

PENANGGULANGAN PENCEMARAN

A. Biochar Sebagai Pembenh Tanah

Pembenh tanah adalah bahan yang digunakan untuk memperbaiki tanah baik secara fisik, kimia maupun biologi. Terdapat berbagai bahan pembenh tanah salah satunya adalah biochar. Biochar adalah bahan padat kaya karbon yang dihasilkan dari pembakaran tidak sempurna. Proses ini disebut pirolisis, yakni pemanasan tanpa atau oksigen yang terbatas. Untuk mendapatkan biochar berkualitas, biochar dapat dibuat menggunakan pirolisator dalam suhu antar 400 - 500°C. Biochar terbuat dari berbagai limbah organik, terutama limbah pertanian. Karena itu, potensi bahan baku biochar sangatlah besar, seperti tempurung kelapa, sekam padi, kulit buah kakao, tongkol jagung, litter ayam, dan bahan organik lainnya. Setelah dipanaskan, biochar terlihat seperti arang, namun memiliki struktur yang jauh lebih berpori/berongga daripada arang biasa. Secara umum Biochar mempunyai fungsi antara lain:

- **Meningkatkan kesuburan tanah.** Biochar membantu memperbaiki struktur tanah, membuat tanah menahan air lebih banyak, dan menciptakan habitat yang baik bagi mikroorganismen tanah yang bermanfaat.
- **Menurunkan emisi gas rumah kaca.** Proses pembuatan biochar melibatkan fiksasi karbon, sehingga dapat membantu mengurangi laju emisi gas rumah kaca dan memitigasi perubahan iklim.
- **Menekan pertumbuhan gulma.** Biochar dapat menghambat pertumbuhan gulma tertentu, sehingga mengurangi kebutuhan akan pestisida kimia.

- **Meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk.** Biochar dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, karena biochar mampu mengikat dan menahan unsur hara. Hebatnya, karena unsur hara yang lebih tahan lama di tanah, maka material ini dapat pula menaikkan hasil panen dan meningkatkan produksi tanaman pangan.
- **Menetralkan pH tanah asam.** Karena sifatnya yang seperti spons, biochar akan menyerap senyawa kimia yang menyebabkan keasaman tanah, sehingga pH tanah akan naik.
- **Membantu pengelolaan limbah.** Sisa-sisa pertanian yang biasanya dibakar atau dibiarkan menumpuk begitu saja kini bernilai berharga dan dapat bermanfaat untuk lingkungan sekitar.

Biochar Coated Humat (Bicomat dan Biochar Terlapis Chitosan (Biosan)

Bicomat dan Biosan merupakan pembenah tanah yang dibuat dengan teknologi pelapisan yang dibuat secara granul. Kelebihan kedua bahan pembenah tanah ini terletak pada proses pelepasan hara yang terkandung di dalamnya dilepas baik dalam waktu yang pendek maupun dalam waktu yang lama. Berbeda halnya dengan menggunakan biochar secara Tunggal. Biochar secara tunggal proses pelepasannya berlangsung dalam waktu yang lama karena pengaruh karbon yang sangat tinggi.

B. Biochar Coated Humat (Bicomat) dan Aplikasi Pada Tanaman Padi

Bicomat merupakan produk turunan biochar dibuat dengan cara dicoated dengan menggunakan asam humat. Produk ini dibuat dengan tujuan agar dalam jangka pendek fungsi perbaikan tanah diambil alih oleh asam humat sedangkan biochar berfungsi dalam waktu yang lama. Produk ini dibuat dengan cara dicoated dengan teknologi granulasi. Proses pembuatannya diawali dari pembuatan biochar dengan metode pirolisis, selanjutnya dihaluskan.

Asam humat yang digunakan sebagai pelapis diekstrak dari bahan organik. Proses granulasi dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan mesin granulator dan bisa dilakukan secara manual dengan menggunakan tampi. Hasil Bicomat yang sudah dalam berbentuk granul sebagaimana terlihat pada Gambar 21 dan 22.



Gambar 21. Proses pembuatan Bicomat



Gambar 22. Produk Bicomat yang sudah dikemas

Bicomat telah diujicoba pada lahan sawah untuk tanaman padi sawah. Hasilnya cukup signifikan karena dapat memperbaiki pertumbuhan dan produksi padi. Penggunaan Bicomat yang merupakan kombinasi antara biochar dan asam humat merupakan cara yang efektif dalam meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman. Peran ini sama halnya dengan peran asam humat yang mampu memperbaiki sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Aplikasi asam humat mampu memperbaiki tanah yang telah mengalami degradasi, termasuk tanah yang tercemar logam berat. Penelitian penggunaan

biochar dan di coated dengan asam humat memiliki perannya yang hamper sama. Namun penggunaan Bicomat memiliki peran yang masih lebih baik karena mampu menyediakan hara dalam waktu pendek, sementara penggunaan biochar dan asam humat yang dilakukan secara terpisah dapat mememberikan respon pertumbuhan yang jauh lebih lama. Respon pertumbuhan ini dilihat dilihat pada Gambar 23.



Gambar 23. Dampak penggunaan Bisomat terhadap pertumbuhan padi

Secara umum penggunaan Bicomat memperlihatkan pertumbuhan vegetate dengan pola pertumbuhan yang baik. Hal diduga pemberian Bicomat sangat efektif untuk memacu pertumbuhan tanaman. Tanaman padi merupakan tanaman memiliki kemampuan adaptasi tumbuh cukup baik. Daya adaptasi tanaman dapat berpengaruh terhadap produksi tanaman (Suede et al., 2017). Penggunaan Bicomat merupakan salah satu cara untuk mengadaptasikan kondisi lingkungan tanah agar tanaman padi dapat tumbuh dengan baik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanaman merespon positif terhadap pemberian Bicomat. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan Bicomat benar-benar efektif untuk meningkatkan perkembangan tanaman. Pertumbuhan tanaman dan pucuk sangat dipengaruhi oleh gugus fungsi asam humat yaitu gugus karboksilat (COOH) dan fenolik (OH) (De Melo et al., 2016). Asam humat penting dalam meningkatkan serapan hara sehingga tinggi tanaman, jumlah daun

dan diameter batang meningkat. Peningkatan penyerapan nutrisi (terutama N, P, dan S) oleh aktivitas asam humat telah banyak dilaporkan (Haghighi et al., 2012). Percepatan penyerapan nutrisi meningkatkan metabolisme nitrogen dan produksi protein yang pada akhirnya meningkatkan kandungan klorofil. Hal ini juga berkaitan dengan fungsi asam humat dalam meningkatkan permeabilitas sel membran, fotosintesis, penyerapan fosfat, dan pemanjangan akar.

Tabel 11. Hasil analisis ragam penggunaan Bicomat dan jarak tanam padi

Perlakuan	Berat gabah/petak (kg)	Berat 1000 butir (g)
Tanpa Bicomat+ JT 20x20 cm.	5,50 ab	27,00 ab
Tanpa Bicomat+ JT 20x30 cm	6,33 bc	28,67 ab
Tanpa Bicomat+ JT 20x40 cm	7,33 bc	30,67 bc
Bicomat 10 ton + JT 20x20cm	5,77 ab	26,33 ab
Bicomat 10 ton + JT 20x30cm	7,37 bc	29,33 ab
Bicomat 10 ton + JT 20x40cm	7,93 c	32,67 bc
Bicomat 20 ton + JT 20x20 cm	6,30 b	31,33 bc
Bicomat 20 ton + JT 20x30 cm	6,60 bc	32,33 bc
Bicomat 20 ton + JT 20x40 cm	7,53 bc	34,33 c
Bicomat 30 ton + JT 20x20 cm	4,30 ab	26,67 ab
Bicomat 30 ton + JT 20x30 cm	5,83 ab	29,33 ab
Bicomat 30 ton + JT 20x40 cm	6,50 bc	31,67 bc
BNT	1,58	3,367

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama tidak berbeda nyata

Penggunaan berbagai dosis Bicomat dengan jarak tanam menunjukkan bahwa dosis 30 ton ha⁻¹ dengan jarak tanam 20 x 40 cm menunjukkan berat gabah/petak dan berat 1000 butir jauh lebih tinggi dibandingkan perlakuan lain.

Pada kedua parameter ini menunjukkan bahwa penggunaan

dosis 10 ton dan 20 ton dengan jarak tanam 20 x 40 cm menunjukkan pertumbuhan yang signifikan. Rata-rata berat gabah kering yang diperoleh pada dosis 10 dan 20 ton ha⁻¹ dan jarak tanam 20 x 40 cm sebesar 7,93 dan 7,53 kg petak⁻¹. Hal yang sama terlihat pada parameter berat 1000 butir padi rata-rata sebesar 32,67 dan 34,33 g. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan Bicomat pada tanaman padi cukup efektif. Hal ini menunjukkan bahwa Bicomat sangat efektif untuk memberikan respons yang sangat signifikan. Secara umum penggunaan biochar pada tanah akan memberikan efek jangka panjang, tidak dalam jangka waktu yang pendek. Namun penggunaan biochar yang dilapisi asam humat pada penelitian ini mampu memberikan efek jangka pendek terutama pada tanah sawah yang kandungan litanya tinggi. Biochar yang diberikan pada tanah liat akan lebih stabil terutama diproduksi pada suhu yang lebih tinggi menunjukkan potensi penyerapan karbon tanah yang tinggi (Widowati et al., 2017). Biochar yang digunakan sebagai bahan dasar pembuatan Bicomat pada penelitian ini diproduksi pada suhu 400 oC.



Gambar 24. Tanaman padi saat panen

Penggunaan Bicomat merupakan salah satu cara untuk mengadaptasikan kondisi lingkungan tanah agar tanaman padi dapat tumbuh dengan baik. Penggunaan biochar selain sebagai pembenah tanah juga meningkatkan efisiensi pemupukan N dan K. Penggunaan

dosis urea yang semula digunakan petani sebanyak 300 kg ha⁻¹, pada penelitian ini hanya menggunakan urea sebanyak 150 kg ha⁻¹, hasilnya tidak berbeda dengan yang diperoleh petani. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan Bicomat mampu menekan penggunaan urea sampai 50%.

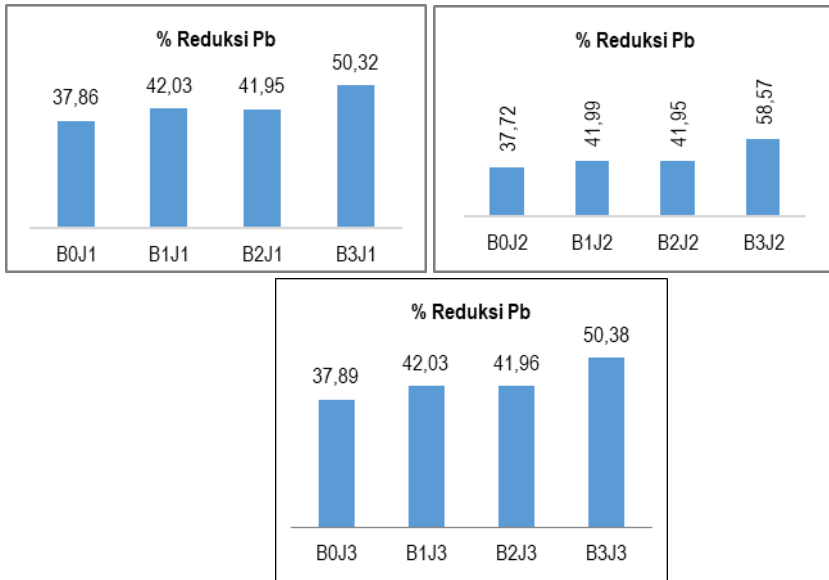
Biochar juga merupakan habitat hidup mikroba tanah. Kondisi yang demikian jika dilapisi asam humat yang juga merupakan nutrisi bagi mikroba maka kecepatan perombakan akan lebih cepat. Penggunaan Bicomat untuk pertanaman padi pada penelitian ini terbukti meningkatkan pertumbuhan dan produksi padi. Selain peran sebagai perbaikan tanah, jarak tanam juga mempunyai andil dalam pertumbuhan tanaman. Pengaturan jarak tanam dapat memberikan keleluasan tanaman dalam penyerapan hara, air dan radiasi matahari.

Peran lain dari Bicomat selain sebagai pembenah tanah, juga akan memicu penyerapan logam berat pada tanaman padi. Tanaman padi merupakan salah satu jenis tanaman remediator yang dapat menyerap logam berat. Semakin banyak logam berat yang diserap pada tanah yang tercemar maka keberadaan logam berat di tanah akan berkurang. Logam berat yang diserap selanjutnya ditimbun di bagian akar sebagai fitoekstraksi. Amandemen tanah seperti biochar, asam humat, atau biochar yang diperkaya dengan asam humat efektif dalam menurunkan ketersediaan logam berat Cd, Cu, Pb, As. Amandemen ini menurunkan fraksi yang dapat ditukar dan meningkatkan fraksi oksidasi dan residu (Handayani et al., 2013).

C. Penggunaan Bicomat Terhadap Reduksi Pb dan Cu Tanah

Amandemen tanah seperti biochar, asam humat, atau biochar diperkaya dengan asam humat secara efektif menurunkan ketersediaan Cd, Cu, Pb, dan As (Li et al., 2021). Amandemen ini mengurangi fraksi yang dapat ditukar dan meningkatkan oksidasi dan pecahan

sis. Hasil analisis reduksi logam berat Pb dan Cu yang menggunakan Bicomat disajikan pada Gambar 25 dan 26.

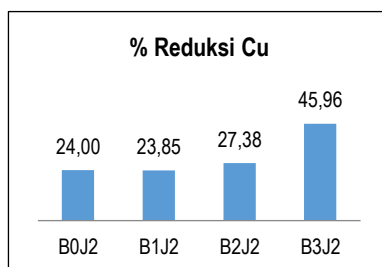
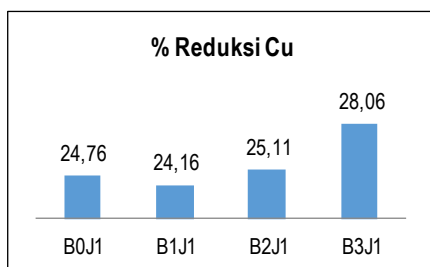


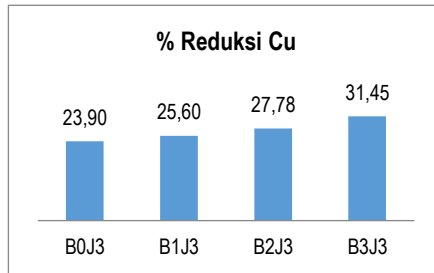
Gambar 25. Reduksi logam berat Pb

Gambar 10 menunjukkan penggunaan Bicomat pada berbagai dosis dan jarak tanam mampu mereduksi logam berat Pb. Reduksi logam berat Pb tertinggi terdapat pada perlakuan dosis Bicomat 30 ton ha⁻¹ baik pada jarak tanam 20 x 20, 20 x 30 cm, maupun pada jarak tanam 20 x 40 cm. Reduksi Pb tertinggi terdapat pada perlakuan dosis 30 ton ha⁻¹ dengan jarak tanam 20x30 cm sebesar 58,57%, disusul perlakuan dosis 30 ton dengan jarak tanam 20 x 40 cm dan dosis 30 ton dengan jarak tanam 20x20 cm yaitu 50,38% dan 50,32%. Sebaliknya reduksi ,logam berat Pb ter rendah terdapat pada perlakuan tanpa Bicomat yaitu rata-rata di bawah 40%. Hal yang sama terlihat juga pada reduksi logam berat Cu. Logam berat Cu yang tereduksi tertinggi rata-rata terlihat pada perlakuan dosis Bicomat 30 ton ha⁻¹ (Gambar 11). Logam berat Cu yang ter reduksi tertinggi dicapai pada perlakuan dosis Bicomat 30 ton ha⁻¹ dengan

jarak tanam 20 x 30 cm yaitu sebesar 45,96%. Disusul perlakuan dosis 30 ton dengan jarak tanam 20x40 dan 20x20 masing-masing 31,45% dan 28,06%. Hasil ini menandakan bahwa penggunaan biochar yang dilapisi asam humat selain mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman padi, juga mampu mereduksi logam berat Pb dan Cu di dalam tanah.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Sizmur et al., 2011) dan (Jian et al., 2012), yang menggunakan biochar untuk memulihkan logam berat Pb dan Cu. Hasil yang diperoleh sebesar 18,8% dan 77%, sedangkan Cu yang diperoleh sebesar 20%. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan biochar berlapis asam humat adalah efektif dalam melumpuhkan logam berat pada tanah tercemar. Penurunan serapan Pb dan Cu pada jaringan tanaman mungkin karena proses imobilisasi (fisorpsi, chemisorption, dan presipitasi) dari logam berat oleh biochar dan asam humat. Biochar efektif menghambat aktivasi tanaman menjadi logam dan mengurangi penyerapan logam oleh tanaman. Imobilisasi logam berat oleh biochar akan mengubah logam berat menjadi bentuk yang lebih stabil dan kurang beracun. Tapi, kehadiran asam humat mempromosikan pembentukan kompleks asam humat Pb dan Cu dan mencegah pembentukan Pb dan Cu hidroksida, sehingga meningkatkan ketersediaan dan mobilitas Pb tanah dan Cu.





Gambar 26. Reduski logam berat Cu

Hasil penelitian menunjukkan penggunaan Bicomat secara konsisten mengurangi konsentrasi Pb dan Cu tanah. Reduksi Pb tanah lebih besar dari Cu tanah. Ini berarti biochar berlapis asam humat lebih efisien dalam menstabilkan Pb dari pada Cu di tanah. Karakteristik biochar mempengaruhi mekanisme imobilisasi. Karakteristik biochar, seperti luas permukaan yang tinggi, kelompok tertentu, dan karakter basa, sangat penting dalam penyerapan logam berat. Karakteristik biochar seperti: heterogenitas permukaan, kelompok fungsional, dan luas permukaan besar akan menstabilkan logam berat dan meningkatkan penyerapan karena strukturnya mikro.

Ketersediaan logam dapat dikurangi dengan asam humat karena afinitas yang kuat dan kemampuannya untuk membentuk kelat dan ion logam melalui gugus karboksilat dan fenolik-OH. Logam memiliki afinitas yang berbeda untuk mengikat asam humat, tergantung pada stabilitas. Cu dan Pb memiliki dua situs pengikatan (Rong et al., 2020), dengan demikian, urutan kapasitas pengompleksan adalah $Pb > Cu$. Lebih lanjut dijelaskan bahwa pengurangan Pb yang tersedia (20% menjadi 39%) di dalam tanah adalah lebih tinggi dari Cd (23% sampai 37%). Ciri-ciri dan perilaku Pb dan Cu mencerminkan hasil yang diperoleh pada penelitian ini, di mana lebih sedikit Cu yang diambil oleh tanaman daripada Pb (Gambar 11). Ini berarti lebih sedikit Cu yang diimobilisasi oleh biochar berlapis asam humat

daripada Pb sehingga lebih banyak Pb tersedia dan dapat diserap oleh tanaman.

DAFTAR PUSTAKA

- Abas Idjudin dan S. Marwanto. 2008. Reformasi pengelolaan lahan kering untuk mendukung swasembada pangan *jurnal Sumberdaya Lahan Vol. 2 No. 2, Desember 2008*
- Abdurachman, 2003. Degradasi Tanah Pertanian Indonesia Tanggung Jawab Siapa. Puslitbangtanak. <http://litbang.deptan.go.id>. diundu, 28 Maret 2014.
- Abdurachman dan Sutono. 2005. Teknologi pengendalian erosi lahan berlereng. hlm. 103–145. *Dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju pertanian produktif dan ramah lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Abdurachman, 2008. Pengaruh Takaran Pupuk Biobanci Terhadap Pertumbuhandan Hasil Tanaman Kubis. Bandung
- Abdurachman A. Dariah, dan A. Mulyani. 2008. strategi dan teknologi pengelolaan lahan kering mendukung pengadaan pangan nasional. *Jurnal Litbang Pertanian, 27(2), 2008*
- Adiningsih dan Sudjadi, 1993. Peranan sistem bertanam lorong (*alley cropping*) dalam meningkatkan kesuburan tanah pada lahan kering masam. Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Agus, F., E. Surmaini, dan N. Sutrisno. 2005. Teknologi hemat air dan irigasi suplemen. hlm. 223–245. *Dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju pertanian produktif dan ramah lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Agus F dan Husen E, 2005. Tinjauan Umum Multifungsi Pertanian. Prosiding Multifungsi Tanah. Balai Penelitian Tanah, Bogor. <https://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/prosiding/>

- Alberto, A.M.P. and Sigua, G.C. 2013. Phytoremediation : A green technology to remove environmental pollutants. *American Journal of Climate Change* 2:71- 86.
- Anonymous, 2020. Pengertian Pencemaran Tanah, Penyebab, Akibat dan Solusi. <https://lingkunganhidup.co/pengertian-pencemaran-tanah-penyebab-akibat-solusi/>
- Arsyad, S. 2000. Pengawetan Tanah dan Air. Departemen Ilmu-Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Atkinson C.J.,J.D. Fitzgerald, N.A. Hips, 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperature soils: a review. *Plant and Soil*, 337 (2010), pp. 1-18
- BPS, 2015. Badan Pusat Statistik, Jakarta. <https://www.bps.go.id/publication/2015/>
- BPS, 2017. Badan Pusat Statistik, Jakarta. <https://www.bps.go.id/publication/2017/>
- Bambang Irawan dan Tri Pranadji. 2002. Pemberdayaan lahan kering untuk pengembangan agribisnis berkelanjutan. *FAE*. Volume 20 No. 2, Desember 2002 : 60 – 76
- Bagas,A; Tarmisi; Uthruva,T. 2015. Sistem Pertanian Terpadu. [www.academia.edu/8621874/Sistem pertanian terpadu](http://www.academia.edu/8621874/Sistem_pertanian_terpadu).
- Bian R., Stephen J., Liqiang C., Genxing P., Lianqing L., Xiaoyu L., Afeng Z., Helen R., Singwei W., Chee C.,Chris M., Bin G., Paul M., and Scott D., 2014. A three-year experiment confirms continuous immobilization of cadmium and lead in contaminated paddy field with biochar amendment. *Journal of Hazardous Materials*, 272: 121–128. www.elsevier.com/locate/jhazmat
- Brown dan Lugo. 1990. Tropical Secondary Forest. [Journal of Tropical Ecology](http://www.elsevier.com/locate/jhazmat) 6(01):1-32

- Brown dan Lugo. 1990. Effects of forest clearing and succession on the carbon and nitrogen content of soils in Puerto Rico and US Virgin Islands. [Plant and Soil](#) 124(1):53-64
- CASER and World Bank. 2000. Assessing the Rural Development Impact of the Crisis in Indonesia. Centre for Agro Socio Economic Research, Bogor and The World Bank. Washington, D.C.
- Chaney, R.L., Chen, K.Y., Li, Y.-M., Angle, J.S., Baker, A.J.M., 2008. Effects of calcium on nickel tolerance and accumulation in Alyssum species and cabbage grown in nutrient solution. *Journal Plant Soil*, 311: 131–140.
- Chozin, M. A. 2014. Peran Ekofisiologi Tanaman dalam Pengembangan Agroforestry. Disampaikan dalam Acara Seminar Nasional Agroforestry di IPB 11 Oktober 2014.
- Cookson, J. T, Jr. 1995. Bioremediation Engineering Design & Application. McGraw Hill, Inc. USA.
- Dariah, A., U. Haryati, dan T. Budhyastoro. 2004. Teknologi konservasi mekanik. hlm. 109–132. *Dalam* Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Dariah dan Heryani, 2014 . Pemberdayaan Lahan Kering Suboptimal untuk Mendukung Kebijakan Diversifikasi dan Ketahanan Pangan. *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus*, Desember 2014; 1-16
- Dariah dan Las, 2010. Pemberdayaan Lahan Kering Suboptimal untuk Mendukung Kebijakan Diversifikasi dan Ketahanan Pangan. *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus*, Desember 2014; 1-16
- Damris M, Prabasari IG dan Bakar A. (2018). Effects of biochar amendment on stabilization of dissolved organic carbon in the soil of oil palm plantation. the 2nd Borneo International Conference on Applied Mathematics and Engineering (BICAME). ISBN 978-1-5386-7724-7/18/USB. 249-252.

- Djikerman. J.C dan D.W. Dianingsih. 1985. Evaluasi Lahan. Unibraw Press. Malang.
- Endang Sri Sudalmi, 2010. Pembangunan Pertanian Berkelanjutan. *Jurnal Inovasi Pertanian* Vol.9, No. 2, September 2010 (15 -28)
- Environmental Protection Agency (EPA), 2001. Brownfields technology primer: selecting and using phytoremediation for site clean up. Environmental Protection Agency, Washington
- Gaskin, J.W., Speir R.A., Harris K., Das K.C., Lee R.D., Morris L.A., Fisher D.S., 2010. Effect of peanuthull and pinechip biochar on soil nutrients, corn nutrient status, and yield. *Agronomy Journal* 102, 623–633.
- De Melo, B. A. G., Motta, F. L., and Santana, M. H. A. 2016. Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel technological developments. *Mater. Sci. Eng. C* 62, 967–974. doi: 10.1016/j.msec.2015.12.001
- Atiyeh, R.M., C.A. Edwards, J.D. Metzger, S. Lee, and N.Q. Arancon. 2002. The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* 84:7-14.
- Ghosh, M., and Singh, S.P., 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its by product. *J. Applied Ecology and Environmental Research* 3 (1): 1–18
- Goodland, R. (1975). *The Cerrado Ecosystem of Brazil: State of Knowledge Report on Tropical Ecosystems*. UNESCO, Div. Ecological Sci., Paris, France: 103 pp.
- Hamzah A., Z. Kusuma, W.H. Utomo, and B. Guritno, 2012. Siam weed (*Chromolaena odorata* L.) for phytoremediation of artisanal gold mine tailings. *Journal Tropical of Agriculture*, 50 (1-2): 88-91.
- Hamzah A. dan Priyadarshini R., 2019. Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat. Unitri press. <http://repository.unitri.ac.id/id/eprint/1584>
- Hamzah A., Priyadarshini R., dan Astuti, 2022. The potential use of humic acid-coated biochar for reducing Pb and Cu in the soil

- to improve plant growth. *J. Degrade. Min. Land Manage*, Vol. 10 No.1 (2022), Hal. 4001-4009. <https://jdmlm.ub.ac.id/index.php/jdmlm/article/view/676>
- Hamzah, A., & Priyadarshini, R. (2023). Characterization of chitosan-coated biochar (Biosan) as soil amendment polluted with heavy metals. In: Herlinda S et al. (Eds.), *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal ke-11 Tahun 2023*, Palembang 21 Oktober 2023. (pp. 118–128). Palembang: Penerbit & Percetakan Universitas Sriwijaya (UNSRI). <https://conference.unsri.ac.id/index.php/lahansuboptimal/article/view/2707/1645>
- Handayanto E.H., Nuraini Y., Nurul M., Netty S., dan Amrullah F., 2016. *Fitoremediasi dan Phytomining Logam Berat Pencemar Tanah*, Penerbit UB Press, Malang.
- Haryati, U. 2002. Keunggulan dan Kelemahan Sistem Alley Cropping Serta Peluang dan Kendala Adopsinya Di Lahan Kering DAS Bagian Hulu.
- Haryono, 2013. Strategi Kebijakan Kementerian Pertanian Dalam Optimalisasi Lahan Suboptimal Mendukung Ketahanan Pangan Nasional. *Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal “Intensifikasi Pengelolaan Lahan Suboptimal dalam Rangka Mendukung Kemandirian Pangan Nasional”*, Palembang 20-21 September 2013. <https://id.scribd.com/document/3-Isi-Prosiding-1>
- Hidayat, A. dan A. Mulyani. 2002. Lahan kering untuk pertanian. hlm. 1–34. *Dalam* A. Abdurachman, Mappaona, dan Saleh (Ed.). *Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Hidayat dan Mulyani, 2004. Lahan kering untuk pertanian. *Teknologi penelolan lahan kering menuju pertanian produktif dan ramah lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Litbang Pertanian.

- Haghighi, M., M. Kafi, and P. Fang. 2012. Photosynthetic activity and N metabolism of lettuce as affected by humic acid. *International Journal of Vegetable Science* 18:182-189.
- Handayani, I.K., Setyowati, E., Santoso, A.M. 2013. Efisiensi Fitoremediasi Pada Air Terkontaminasi Cu Menggunakan *Salvina molesta mitchel*. *Proceeding Biology Education Conference*. Vol. 10. No. 1.
- Islami T, B .Guritno, N. Basuki, A.Suryanto. 2011. Biochar for sustaining productivity of cassava based cropping systems in the degraded lands of East Java, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture* 49, 40-46
- Islami T., S. Kurniawan, and WH.Utomo, 2013. Yield stability of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) planted in intercropping system after 3 years of biochar application. *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*. p. 306+. Accessed 20 May 2021.
- Jeffery S., F.G.A. Verheijen, M. van der Velde, A.C. Bastos, 2011. A Quantitative Review of the Effects of Biochar Application to Soils on Crop Productivity Using Meta-Analysis. *J. Agriculture Ecosystems & Environment* 144(1):175-187. DOI: 10.1016/j.agee.2011.08.015
- Jones D.L., Rousk J. , Edwards G.J. , DeLuca T.H., Murphy D.V. Biochar-mediated changes in soil quality and plant growth in a three year field trial. *Soil Biology and Biochemistry*. Volume 45, February 2012, Pages 113-124. <https://www.sciencedirect.com/science/article>
- Jiang, T.Y., Jiang J., Xu, R.K. and Li, Z. 2012. Adsorption of Pb (II) on variable charge soils amended with rice-straw derived biochar. *Chemosphere* 89(3):249-256, doi:10.1016/j.chemosphere.2012. 04.028,
- Kalo, H. Thamrin. 1988. Model Farm Sebagai Sistem Usahatani Konservasi Tanah Pada Lahan Kering Miring di DAS Citanduy (Evaluasi Keberhasilan dan Tantangan Untuk Pelembagaannya).

Unit Studi dan Evaluasi Sosial Ekonomi (USESE) Pengembangan Wilayah DAS Citanduy, Ciamis, Jawa Barat.

- Khairullah. 2009. Klasifikasi Iklim Oldeman: Teori dan Penerapannya. Memahami fenomena cuaca, iklim dan geofisika dengan pandangan ilmu pengetahuan dan hikmah. <https://www.blogger.com/profile/13039936163741682797>
- Kurnia, U., Sudirman, dan H. Kusnadi. 2005. Teknologi rehabilitasi dan reklamasi lahan. hlm. 147–182. *Dalam* Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju pertanian produktif dan ramah lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor
- Kurnia, U., N. Sinukaban, F.G. Suratmo, H. Pawitan dan H. Suwardjo. 1997. Pengaruh teknik rehabilitasi lahan terhadap produktivitas dan kehilangan air. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk*, No. 15 : 10-18.
- Kurnia, U. 1996. Kajian metode rehabilitasi lahan untuk meningkatkan dan melestarikan produktivitas tanah. Disertasi Doktor, Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Kurnia U, Rachman A, dan Dariah A, 2004. Teknologi Konservasi Tanah Pada Lahan Kering Berlereng. Puslitbang Tanah dan Agroklimat. <https://balittanah.litbang.pertanian.go.id/ind/dokumentasi/buku/lahankering>
- Lehmann and Marco Rondon. 2003; Bio-Char Soil Management on Highly Weathered Soils in the Humid Tropics. *Biological Approaches to Sustainable Soil Systems*.
- Las, I., A. Unadi, K. Subagyo, H. Syahbuddin, dan E. Runtunuwu. 2007. Atlas Kalender Tanam Pulau Jawa. Skala 1:1.000.000 dan 1:250.000. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor. 96 hlm
- Las, I., W. Estiningtyas, E. Surmaini, E. Susanti, dan M. Fitriani. 2014. Analisis Kerentanan Pangan pada Sektor Pertanian Menghadapi

Perubahan Iklim. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian.

- Li, Song & Sun, Xiangyang & Li, Suyan & Liu, Yuanxin & Ma, Qixue & Zhou, Wenjie. 2021. Effects of amendments on the bioavailability, transformation and accumulation of heavy metals by pakchoi cabbage in a multi-element contaminated soil. *RSC Advances*. 11. 4395-4405. 10.1039/DoRA09358K.
- Masulili, A., Utomo, W. H., and Wisnubroto, E. 2016. Growing Rice (*Oriza sativa* L.) in the Sulphate Acid Soils of West Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Agricultural Research*, 11(1), 13.
- Matheus, R., M. Basri, M.S. Rompon, N. Neonufa. 2017. Strategi pengelolaan pertanian lahan kering dalam meningkatkan ketahanan pangan di Nusa Tenggara Timur. *Partner* 22:529-541.
- Minardi, S. 2009. Optimalisasi Pengelolaan Lahan Kering untuk Pengembangan Pertanian Tanaman Pangan. Orasi Pengukuhan Guru Besar Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Universitas Sebelas Maret. Surakarta
- Muhaimin, Y.A. 1990. *Bisnis dan Politik: Kebijaksanaan Ekonomi Indonesia 1950- 1980*. LP3ES. Jakarta.
- Mulyani, A dan A. Hidayat. 2009. Peningkatan kapasitas produksi tanaman pangan pada lahan kering. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. Volume 3. No. 2: 2009. hal 73-84. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Mulyani, A. dan M. Sarwani. 2013. Karakteristik dan Potensi Lahan Sub Optimal untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia. *Jurnal Sumberdaya Lahan* No. 2 tahun 2013. Hal 47-56. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Mulyani, A., D. Nursyamsi, dan I. Las. 2014. Percepatan Pengembangan Pertanian Lahan Kering Iklim Kering di Nusa Tenggara. *Jurnal Pengembangan Inovasi Pertanian*, Volume 7, No. 4, 2014. Hal 187-198. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.

- Murti Laksono dan Anwar (2013), Potensi, kendala dan strategi pemanfaatan lahan kering dan kering masam untuk pertanian (Padi, Jagung Kedele), peternakan dan perkebunan dengan menggunakan teknologi tepat guna dan spesifik lokasi. Conference: Prosiding Seminar Nasional Lahan Suboptimal 2014. Universitas Sriwijaya, Palembang
- McMahon, G., Subdibjo, E.R., Aden, J., Bouzaher, A., Dore, G., and Kunanayagam, R., 2000. Mining and the environment in Indonesia: Long-term trends and repercussions of the Asian economic crisis. EASES Discussion Paper Series, 21438 November 2000. the Environment and Social Development Unit (EASES), East Asia and Pacific Region of the World Bank
- McBratney, A., Field, D.J., Koch, A., 2014. The dimensions of soil security. *Geoderma* 213, 203–213. <https://www.sciencedirect.com>
- Nurida N. L., A. Dariah, S. Sutono. 2015. Pembena tanah alternatif untuk meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman kedelai di lahan kering masam. *Jurnal tanah dan Iklim*, 39(2); 99-109.
- Nurida, N.L., A. Dariah dan A. Rachman. 2013. Peningkatan kualitas tanah dengan pembena tanah biochar limbah pertanian. *Jurnal tanah dan Iklim*, 37(2); 69-78.
- Notohadiparwiro, T. 1989. Dampak Pembangunan Pada Tanah, Lahan dan Tata Guna Lahan. Pusat Studi Lingkungan. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.
- Noeralam, A. 2002. Teknik Pemanenan Air yang Efektif dalam Pengelolaan Lahan Kering pada Usahatani Lahan Kering. Disertasi Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan. IPB.
- Ogawa, M. 2006. Carbon sequestration by carbonization of biomass and forestation: three case studies. Pp 133-146
- Pranadji, 1999. Desentralisasi dan Percepatan Transformasi Agribisnis Secara Berkelanjutan. *dalam* Dinamika Inova si Sosial Ekonomi dan Kelembagaan Pertanian (Editor I.W. Rusastra dkk). Pusat Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian. Bogor.

- Priyadarshini, R., Hamzah, A. and Astuti. 2020. Growth performance and biomass production of *Eleusine indica* and *Rorippa sylvestris* on heavy metal contaminated soil after biochar application. *J. Degrad. Min. Land Manage.* 7(4): 2287-2299, DOI: 10.15243/jdmlm.2020.074.2287.
- Rahayu S.P. 2005. Peranan mikroorganisme dalam bioremediasi tanah yang tercemar logam berat dari limbah industri (Review). *Jurnal Kimia dan Kemasan* Volume 27 No. 2. <http://ejournal.kemenperin.go.id/jkk/article/view/3583/2811>
- Rawat, J., Jyoti, S. and Pankaj, S. 2019. Biochar: A Sustainable Approach for Improving Plant Growth and Soil Properties. In book: *Biochar - An Imperative Amendment for Soil and the Environment*.
- Rochayati, S. dan A. Dariah. 2012. Pengembangan lahan kering masam: peluang, tantangan, dan strategi, serta teknologi pengendalian. Hlm. 187-206 dalam *Prospek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan Pangan*. Badan Litbang Pertanian. LITBANG-PRESS
- Rong, Q., Zhong, K., Huang, H., Li, C., Zhang, C. and Nong, X. 2020. Humic acid reduces the available cadmium, copper, lead, and zinc in soil and their uptake by tobacco. *Applied Sciences* 10:1077, doi:10.3390/app10031077
- Rusastra. I. W, P. Simatupang dan B. Rachman. 2002. Pembangunan Ekonomi Pedesaan Berlandaskan Agribisnis. In T. Sudaryanto (eds). *Analisis Kebijakan Pembangunan Pertanian Andalan Berwawasan Agribisnis*. Monograph Series No. 23. Pusat Penelitian dan Pengembangan Sosial Ekonomi Pertanian Bogor.
- Santoso, D., J. Purnomo, I G.P. Wigena, dan E. Tuherkih. 2004. Teknologi konservasi vegetatif. Olah tanah konservasi. hlm. 77-108. *Dalam Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng*.

Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.

- Saidi dan Suryani, 2019. Pewilayahan Komoditas Pertanian Berdasarkan Zona Agroekologi Skala 1: 50.000 Di Kabupaten Batanghari Jambi. <https://online-journal.unja.ac.id/JIITUJ/article/view/8192>. Diunduh 30 Juli 2020.
- Schroder, P., Patricia, J.H., and Jean-Paul, S., 2002. prospects for phytoremediation of organik pollutants in europe. *J. Environmental Science and Pollution*, 9(1): 1 – 3.
- Siregar U.J. dan Siregar C.A.(2010. Fitoremediasi : Prinsip dan Prakteknya Dalam Restorasi Lahan Pasca Tambang di Indonesia. Seamoe Biotrop, Bogor.
- Sizmur, T., J. Wingate, T. Hutchings, and M.E. Hodson. 2011. *Lumbricus terrestris* L. does not impact on the remediation efficiency of compost and biochar amendments. *Pedobiologia* 54 (Supplement): S211–S216. doi:10.1016/j.pedobi.2011.08.00
- Soepardi, H.G. 2001. Strategi usaha tani agribisnis berbasis sumber daya lahan. hlm. 35–52. Prosiding Nasional Pengelolaan Sumber Daya Lahan dan Pupuk Buku I. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Suete F., Sakka S., dan Uswah H., 2017. Respon Pertumbuhan Padi Gogo (*Oryza sativa*) Kultivar Lokal Pada Berbagai Tingkat Kelengansan Tanah. *J. Agrotekbis* 5 (2) : 173 - 182, April 2017.
- Spokas, K.A., K.B. Cantrell, J.M. Novak, D.A. Archer, J.A. Ippolito, H.P. Collins, A.A. Boateng, I.M. Lima, M.C. Lamb, A.J. McAloon, R.D. Lentz, and K.A. Nichols. 2012. Biochar: A synthesis of its agronomic impact beyond carbon sequestration. *J. Environ. Qual.* 41:973–989 (this issue).
- Subagyo, H., Nata Suharta, dan Agus. B. Siswanto. 2000. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. hlm. 21-66 dalam Buku Sumber

- daya Lahan Indonesia dan Pengelolaannya. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Subagyo, K., U. Haryati, dan S.H. Talao'ohu. 2004. Teknologi konservasi air pada pertanian lahan kering. hlm. 151-188. *Dalam* Konservasi Tanah pada Lahan Kering Berlereng. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Spokas K.A., Novak J.M., Venterea R.T., (2012) Biochar's release alternative N fertilizer: ammonia capture. *J. Plant Soil* 350:35-42. doi:10.1007/s11104-011-0930-8
- Sukartono, Utomo, W.H., Kusuma, Z. and Nugroho, W.H. 2011. Soil fertility status, nutrient uptake, and maize (*Zea mays* L.) yield following biochar application on sandy soils of Lombok, Indonesia. *Journal of Tropical Agriculture* 49: 47-52.
- Sukmana, 1994. Budi daya lahan kering ditinjau dari konservasi tanah, dalam Prosiding Penanganan Lahan Kering Marginal melalui Pola Usaha Tani Terpadu. Jambi, 2 Juli 1994. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Suriadikarta, D.A., T. Prihatini, D. Setyorini, dan W. Hartatiek. 2002. Teknologi pengelolaan bahan organik tanah. hlm. 183-238. *Dalam* Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Suryani Y., 2011. Bioremediasi limbah merkuri dengan menggunakan mikroba pada lingkungan yang tercemar. *Jurnal istek*, volume v no. 1 - 2 i. <https://journal.uinsgd.ac.id/index.php/istek/article/view/273/287>
- Tanzito, G., Ibanda, P.A., Ocan, D. and Lejoly, J. 2020. Use of charcoal (biochar) to enhance tropical soil fertility: A case of Masako in Democratic Republic of Congo. *Journal of Soil Science and Environmental Management* 11(1):17-29
- Taraqqi-A-Kamal A., Atkinson C.J., Khan A., Zhang K.K., Sun P., Akther S., Zhang Y.R. (2021). Biochar remediation of soil:

- linking biochar production with function in heavy metal contaminated soils. *Plant Soil Environ.*, 67: 183–201.
- Thamrin dan Hanafi. 1992. Peranan Mulsa Sisa Tanaman terhadap Konservasi Lengas Tanah pada Sistem Budidaya Tanaman Semusim di Lahan Kering
- Tejoyuwono, 1989. Dampak Pembangunan Pada Tanah, Lahan dan Tata Guna Lahan. Pusat Studi Lingkungan. Universitas Gajah Mada. Yogyakarta
- Tripathi N., Choppala G., Singh R.S. (2017). Evaluation of modified chitosan for remediation of zinc contaminated soils, *Journal of Geochemical Exploration* 182 (2017) 180–184. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.08.011>
- Utomo W.H. dan Wisnubroto E. I, (2007). Dari Konservasi Tanah Ke Pemeliharaan Lahan: Upaya Pencapaian Pertanian Berkesinambungan. Bunga Rampai Konservasi Tanah dan Air. Pengurus Pusat MKTI, Jakarta 2007.
- Vidali, M. 2001. Bioremediation. An overview. *Pure Appl. Chem.*, Vol. 73, No. 7, pp. 1163–1172.
- Wahyunto, danShofiyati,R. 2014. Wilayah Potensial Lahan Kering untuk MendukungPemenuhan Kebutuhan Pangan di Indonesia. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan. Bogor.
- Waseem. A., Jahanzaib, A., Farhat. I., Ashif. S., Zahid. M. and Ghulam, M. 2014. Pollution status of Pakistan: a retrospective review on heavy metal contamination of water, soil, and vegetables. *BioMed Research International* Volume 2014 (2014), Article ID 813206, 29 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/813206>.
- Watson, S. 2016. Penerapan Sistem Pertanian Terpadu. [www.watonsinau.work /2016/02/penerapan sitem-pertanian-terpdu.html](http://www.watonsinau.work/2016/02/penerapan-sistem-pertanian-terpadu.html).
- Widaningrum, Miskiyah dan Suismono, 2007. Bahaya Kontaminasi Logam Berat Dalam Sayuran Dan Alternatif Pencegahan

Cemarannya. Jurnal, Buletin Teknologi Pascapanen Pertanian
Vol. 3 2007

- Widowati, Astuti, Sumiati A. dan Fikrinda W., 2017. Residual effect of potassium fertilizer and biochar on growth and yield of maize in the second season. *Journal Of Degraded And Mining Lands Management*, Volume 4, No. 4 (July 2017). www.jdmlm.ub.ac.id
- Widowati, Sutoyo, Karamina, H. and Wahyu, F. 2020. Soil amendment impact to soil organic matter and physical properties on the three soil types after second corn cultivation. *AIMS Agriculture and Food* 5(1): 150–168.
- Wisnubroto, 2015. Investigation on the effect of biochar addition and the use of pasture species with different rooting systems on soil fertility and carbon storage: a thesis presented. Massey University, Palmerston North, New Zealand. <https://mro.massey.ac.nz/handle/10179/7180>.
- Zynda, T., 2001. Phytoremediation. Michigan State University The Technical Assistance for Brownfield Communities (TAB) Program.

INDEKS

- agroforestry, 42, 50, 53
- agronomi, 25, 48, 50
- Alfisols, 9, 10, 19
- alkalis, 9, 10, 19
- Andisols, 9, 10
- anorganik, 58, 60, 69
- antropogenik, 56, 60, 62
- As, 56, 57, 67, 69
- bahan organik, 19, 21, 23, 27, 31, 32, 33, 34, 37, 44, 45, 46, 55, 73, 74, 85
- Batas kritis, 66
- Benzene, 63
- beriklim kering, 18, 22
- biochar, 27, 28, 45, 74, 77, 79, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87
- biofisik, 11, 13, 16, 17, 19
- biomassa, 45, 55, 56, 70
- bioorganik, 27, 44
- Bioremediasi, 72, 73, 86
- Bicomat, 74, 75, 76, 77, 78
- Brassica juncea, 70
- Cd, 56, 57, 58, 62, 66, 67, 69, 70, 72, 73, 74, 77
- Chromolaena odorata, 70
- Cn, 56, 57
- curah hujan, 9, 10, 11, 12, 18, 19, 21, 22, 27, 35, 41, 44, 46
- Dam parit, viii, 38, 39
- DAS, 35, 39, 81, 82
- dispersi, 33
- dryland, 9
- eksitu, 69
- Eleusine indica, 70, 73, 75, 84
- esensial, 21, 57
- Euphorbia hirta, 74, 77
- evaporasi, 32, 34
- evapotranspirasi, 37
- existing, 43
- farming, 53, 54
- Fe, 21, 46, 57, 58
- ferrosulfat, 28
- fiksasi, 9, 21
- Fitoremediasi, 68, 81
- hara makro, 21, 31, 58
- hara mikro, 58
- Hg, 56, 57, 69
- Inceptisols, 9, 10, 19
- industry, 57, 67
- infrastruktur, 18, 53
- insitu, 69
- irigasi, 10, 12, 15, 29, 30, 35, 37, 41, 53, 61, 78
- irigasi hybrid, 29
- irigasi sprinkle, 29
- irigasi tetes, 29, 30, 41
- Kanhapludults, 30
- karbon, 28, 44, 45, 57, 74

Karmabat, 63
klorin, 63, 64
Klorin,, 64
komoditas, 11, 17, 20, 23, 35, 40, 41, 42, 43, 49, 50
konservasi, 10, 16, 19, 20, 23, 25, 26, 27, 31, 32, 33, 35, 36, 38, 41, 42, 43, 47, 48, 49, 56, 64, 80, 84, 85
Kontur, 12
konversi, 17
konversi., 17
Kromium, 59, 63
Lahan, 9, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 27, 29, 30, 41, 42, 43, 44, 48, 53, 66, 78, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86
lahan kering, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 56, 78, 79, 81, 82, 83, 84, 85
landscape, 35
legume, 26, 49
LEISA, 50
lengas, 10, 34
logam berat, 46, 56, 57, 58, 59, 62, 66, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 77, 84
low input, 13
lowland, 9
masa tanam, 29, 41, 42
masam, 9, 11, 19, 20, 25, 27, 29, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 52, 53, 54, 74, 78, 83, 84
mekanis, 26, 37, 48, 49
Merkuri, 63, 67
mikroba, 27, 44, 72, 73, 74, 86
mining, 57
mixed cropping, 13
Mn, 21, 46, 57, 66, 69
Mollisols, 9, 10, 19
monokultur, 20, 35, 51
mulsa, 25, 31, 34, 48
N, P, dan K, 21, 31
Ni,, 56, 69
oksida belerang, 57
oksida nitrogen, 57
open pit, 57
Oxisols, 9, 21
Pb, 56, 57, 58, 66, 67, 69, 70, 72, 73, 74, 77
pencemaran, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 71, 79
pertambangan, 56, 57, 68
pestisida, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 69, 71
pewilayahan, 43
pH, 9, 10, 19, 20, 21, 29, 45, 46, 62, 73, 74

polutan, 55, 56, 62, 63, 67, 68, 69, 72, 73
porositas, 27, 32
potensial, 11, 16, 17, 20, 28, 42, 46, 62
produktivitas, 11, 19, 22, 23, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 39, 43, 44, 45, 46, 49, 55, 62, 74, 82, 83
pupuk, 27, 31, 44, 49, 51, 52, 56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 66, 71
Reduksi, 73, 74
reservoir, 38
residu, 28, 56
retensi, 25, 28, 43, 48, 74
Rorak, 36
Rorippa sylvestris, 70, 84
sawah, 13, 14, 15, 16, 17, 23, 35, 38, 44, 51, 54, 56, 57, 58
sengkedan, 25, 48
Sikoldenia, 63
Soil washing, 67
solum, 16, 18, 36, 42, 53
strip, 31, 32, 33
tailing, 28, 67, 68, 70
tanaman lorong, 32, 37
Teknologi, 29, 41, 44, 45, 67, 68, 72, 73, 78, 80, 81, 82, 84, 85, 86
teras bangku, 25, 36, 48
teras guludan, 25, 48
tipologi, 11, 54
toleran, 41, 72
topografi, 13, 16, 20
tropika, 27, 32, 44
tropis, 11, 12, 21, 44, 51
Ultisols, 9, 19, 21
upland, 9, 10
Upland, 9
vakuola, 73
vegetatif, 25, 31, 32, 48, 84
Vertisols, 9, 19
Vetiveria zizanioides, 70, 71
volkan, 9
water scarcity, 22
Wind break, 37
Zat timbale, 63
Zn, 21, 56, 57, 58, 62, 66, 69, 70, 73

GLOSARIUM

Antropogenik	: Ulah tangan manusia
Alkalis	: pH tanah lebih dari 7
Bioremediasi	: Pengendali pencemaran dengan mikroba
Biochar	: Pembenh tanah / arang yang dibakar
Bicomat	: secara pirolisis Biochar yang dicoated dengan asam humat
Brassica juncea	: Sejenis sayuran atau sawi
Cover crop	: Tanaman penutup tanah
DAS	: Daerah Aliran Sungai
Embung	: Tempat penampungan air hujan
Evapotranspirasi	: Penguapan melalui tanah dan tanaman
Existing	: Sesua dengan asli
Fiksasi	: Mengikat
Fitoremediasi	: Pembersihan tanah dengan tumbuhan
Insitu	: Setempat
Konservasi	: Perlindungan atau melindungi
Lanskap	: Bentang lahan
Legum	: Sejenis kacang-kacangan
Low input	: Masukan rendah
Lowland	: Lahan bagian bawah
Masam	: pH tanah kurang dari 6
Porositas	: Rongga-rongga di dalam tanah
Reduksi	: Menurunkan
Remediasi	: Pembersihan
Residu	: Sisa
Rorak	: Galian tanah untuk menampung air hujan
Solum	: Kedalaman tanah
Tailing	: Limbah pemisahan biji emas atau limbah tambang

Toleran : Kemampuan bertahan
pH : Tingkat keasaman tanah
Upland : Lahan kering
Wind break : Pemecah angin

BIOGRAFI PENULIS



Dr. Ir. Amir Hamzah, MP., lahir di Maluku Utara, 27 Mei 1967. Saat ini bekerja sebagai dosen Lembaga Layanan Dikti (LLDikti) Wilayah 7 Jawa Timur, diperbantukan (dpk) pada Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggadewi, Malang. Sejak 2017- sekarang dipercaya menjabat sebagai Dekan Fakultas Pertanian Universitas Tribhuwana Tunggadewi, dengan Jabatan Fungsional Lektor Kepala. Gelar Sarjana Pertanian (Ir) diperoleh dari Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Darussalam Ambon, 1992. Tahun 1999 memperoleh Gelar Magister Pertanian (MP) dari Pascasarjana Universitas Brawijaya Program Studi Pengelolaan Tanah dan Air. Tahun 2013 menyelesaikan Program Doktor Ilmu Pertanian dari Universitas Brawijaya. Sejak tahun 2008 sampai saat ini masih menekuni berbagai penelitian yang berkaitan dengan pencemaran tanah dan pengelolaan sumber daya lahan. Aktif di organisasi profesi sebagai Ketua Harian Asosiasi Perguruan Tinggi Swasta Ilmu Pertanian (APTSIPI) 2019-2021, dan Wakil Ketua periode 2021-2024. Pengurus Asosiasi Biochar Indonesia (ABI) 2020 – sekarang. Aktif pada forum-forum ilmiah baik sebagai pemakalah maupun peserta. Beberapa hasil penelitian telah publikasikan di jurnal Nasional maupun Internasional, serta beberapa diantaranya telah dipatenkan. Buku yang pernah ditulis, “Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat” (2019). Teknik Budidaya Sayuran Organik Dengan Sistem Plant Factory (2022). Pupuk Organik; Tinjauan Teori dan Praktek (2023), Biochar: Mitigasi Perubahan Iklim (2023).



Dr. Ir. Rossyda Priyadarshini, MP., lahir di Sampang, 19 Maret 1967. Saat ini bekerja sebagai dosen Fakultas Pertanian Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Surabaya. Menjabat sebagai Kepala LPPM Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur sejak 2022 - sekarang, dengan Jabatan Fungsional Lektor Kepala. Gelar Sarjana Pertanian (Ir) diperoleh dari Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor, 1990. Tahun 1999 memperoleh Gelar Magister Pertanian (MP) dari Pascasarjana Universitas Brawijaya Program Studi Pengelolaan Tanah dan Air Universitas Brawijaya. Tahun 2012 menyelesaikan Program Doktor Ilmu Pertanian Universitas Brawijaya. Sejak tahun 2007 sampai saat ini masih menekuni berbagai penelitian yang berkaitan Biodiversitas dan Agroforestri. Aktif mengikuti seminar baik ditingkat nasional maupun internasional sebagai pemakalah maupun peserta. Beberapa hasil penelitian telah publikasikan di jurnal Nasional maupun Internasional.

PENGELOLAAN LAHAN KERING DAN TERCEMAR

Pertanian lahan kering dikategorikan atas pertanian lahan kering masam dan lahan kering iklim kering. Kategori lahan kering masam memiliki faktor pembatas utama kemasaman tanah, sedangkan kategori lahan kering iklim kering keberadaan air sebagai faktor pembatas. Kedua jenis lahan ini dapat digunakan sebagai lahan pertanian yang potensial karena luasananya cukup besar. Permasalahan utama lahan kering ada pada ketersediaan air, upaya pemanfaatannya dilakukan dengan teknologi yang spesifik, serta tindakan konservasi tanah dan air yang memadai agar pemanfaatannya berkelanjutan.

Selain permasalahan yang dihadapi lahan kering, sebagian lahan kita juga mengalami masalah pencemaran. Sumber pencemaran utama adalah antropogenik, seperti industri, pertambangan, residu pupuk maupun pestisida yang melampaui batas, dan faktor penyebab lain. Upaya pengendalianpun sebenarnya sudah cukup banyak, walaupun tingkat keberhasilannya belum seratus persen karena banyak faktor yang ikut terlibat di dalamnya. Namun demikian buku yang ditulis ini telah memberikan sedikit gambaran tentang bagaimana teknik pengelolaannya.



Penerbit Forind
Jl. Raya Tlogomas V No. 24 Malang 65141
Telp. 081233992973
Email : forind_publishing@yahoo.com