

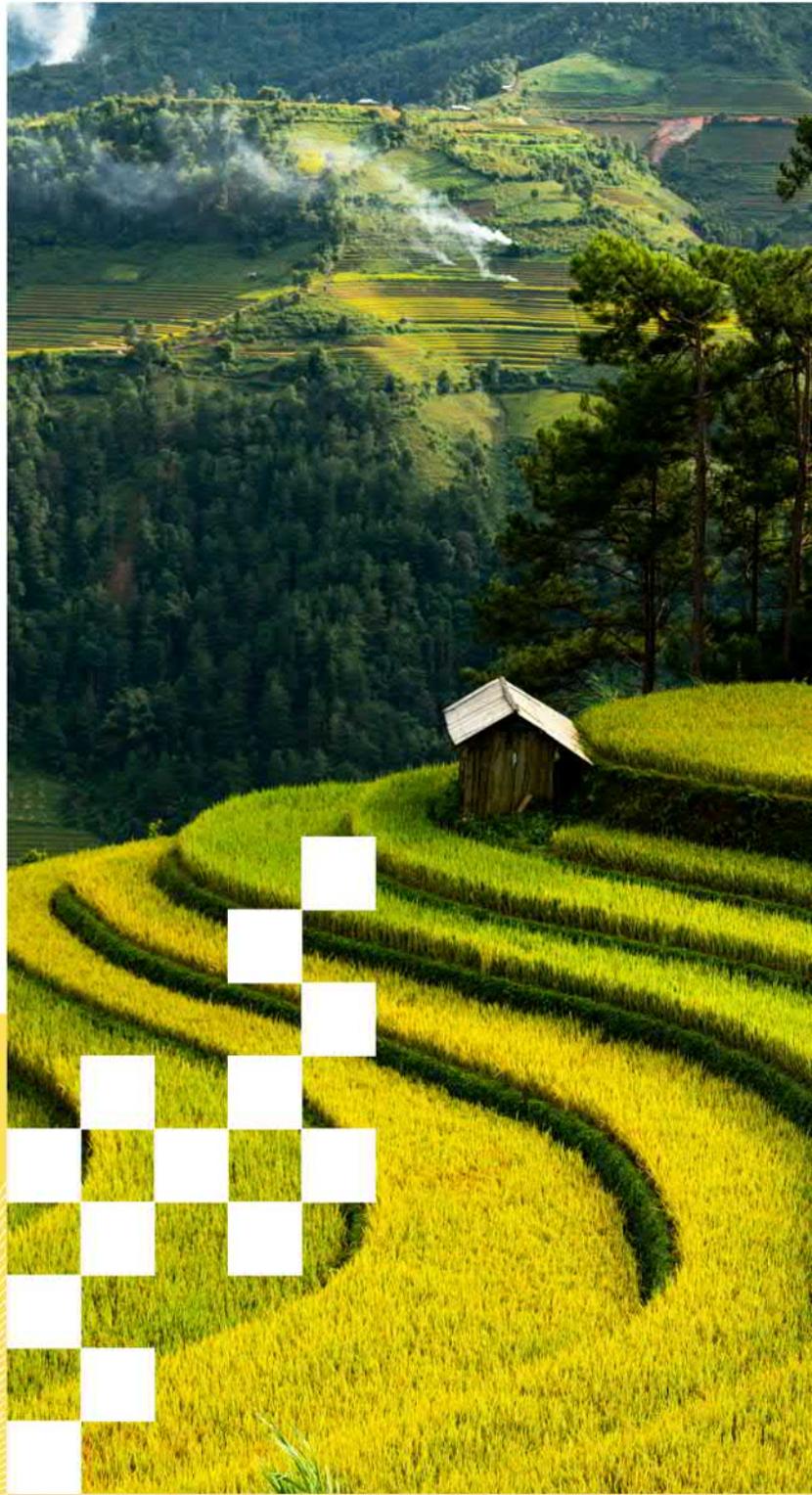


# WARTA



## SUMBER DAYA LAHAN PERTANIAN

- 01** Peran Terasering Dalam Menekan Laju Erosi Tanah Pada Lahan Pertanian
- 02** Fitoremediasi Sebagai Solusi Alternatif Pengendalian Cemaran Lingkungan
- 03** Potensi Terak Baja Sebagai Pembenh Tanah dan Penyedia Hara
- 04** Inpara: Varietas Unggul Padi Sawah untuk Optimalisasi Lahan Rawa
- 05** Pemanfaatan Penginderaan Jauh sebagai Inovasi Pendukung Pertanian Modern



Pengelolaan sumber daya lahan pertanian berkelanjutan memerlukan strategi terpadu mulai dari pencegahan degradasi hingga peningkatan produktivitas. Upaya konservasi seperti terasering efektif menekan erosi pada lahan miring, sementara fitoremediasi memulihkan lahan tercemar secara ramah lingkungan. Pemanfaatan terak baja sebagai pembenh tanah mampu memperbaiki kualitas tanah sekaligus menyediakan hara penting bagi tanaman. Optimalisasi potensi lahan rawa didukung melalui penggunaan varietas unggul padi Inpara yang adaptif terhadap kondisi ekstrem. Seluruh tahapan ini diperkuat oleh teknologi penginderaan jauh yang memungkinkan pemantauan lahan dan tanaman secara presisi, sehingga mendorong pertanian yang produktif, efisien, dan berkelanjutan.

Kementerian Pertanian  
Badan Perakitan dan Modernisasi Pertanian  
Balai Besar Perakitan dan Modernisasi Sumber Daya Lahan Pertanian



Warta

# SUMBER DAYA LAHAN PERTANIAN

Vol. 2 No. 2, Agustus 2025

## Peran Terasering Dalam Menekan Laju Erosi Tanah Pada Lahan Pertanian

Indah Puspita Rini, Rara Adelia Nurtanti, Emiliane Zikha Chatistareta, Aqila Tsabita Parawida, Azuhra Dini Qothrunnadaa Nabiilah, Evan Iqro' Hadyansyah, Fahreza Reybima Daffa

Departemen Ilmu Tanah - Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada

### RINGKASAN

**E**rosi merupakan salah satu bentuk degradasi lahan yang umum terjadi di wilayah tropis seperti Indonesia, terutama pada lahan miring yang digunakan untuk kegiatan pertanian tanpa praktik konservasi yang memadai. Erosi mengakibatkan hilangnya lapisan tanah subur, penurunan kesuburan tanah, dan berkurangnya produktivitas lahan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jenis dan faktor penyebab utama erosi tanah serta mengkaji efektivitas terasering sebagai metode konservasi tanah dan air. Kajian dilakukan melalui pendekatan studi pustaka dari berbagai sumber ilmiah. Hasil pembahasan menunjukkan bahwa erosi dibedakan menjadi erosi aktual dan erosi potensial, yang dipengaruhi oleh faktor seperti erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), panjang dan kemiringan

teras seperti teras datar, bangku, kredit, guludan, dan individu diaplikasikan sesuai karakteristik lahan. Selain mengurangi erosi, terasering juga berfungsi sebagai teknik konservasi air dan berkontribusi terhadap peningkatan cadangan air tanah. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada perencanaan yang tepat dan perawatan berkelanjutan. Kombinasi terasering dengan vegetasi penutup memperkuat struktur tanah dan meningkatkan efisiensi konservasi. Dengan demikian, terasering merupakan solusi strategis untuk pengelolaan lahan miring secara berkelanjutan.

### I. PENDAHULUAN

Indonesia yang berada di wilayah tropis memiliki kekayaan sumber daya alam (SDA) yang sangat melimpah, salah satunya adalah lahan. Lahan menjadi sumber daya vital bagi kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya. Peningkatan jumlah penduduk turut mendorong peningkatan kebutuhan akan lahan, yang berimbas pada penurunan kualitas dan kuantitas lahan (Wijayanto et al. 2021). Aktivitas pertanian yang dilakukan manusia kerap mengeksploitasi sumber daya secara berlebihan, sehingga mempercepat degradasi lingkungan dan kerusakan ekosistem, terutama tanah dan air. Dalam beberapa dekade terakhir, sektor pertanian menghadapi tantangan besar, salah satunya adalah meningkatnya tekanan terhadap lahan pertanian (Gulo et al., 2024). Di daerah berlereng, lahan masih dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian oleh para petani. Namun, pertanian di lahan miring tanpa penerapan praktik konservasi tanah dan air (KTA) yang sesuai dapat memicu terjadinya erosi. Pengolahan lahan yang terus-menerus dan tidak diimbangi

#### DAFTAR ISI

Peran Terasering Dalam Menekan Laju Erosi Tanah Pada Lahan Pertanian.....	1
Fitoremediasi Sebagai Solusi Alternatif Pengendalian Cemaran Lingkungan.....	10
Potensi Terak Baja Sebagai Pembena Tanah dan Penyedia Hara.....	17
Inpara: Varietas Unggul Padi Sawah untuk Optimalisasi Lahan Rawa.....	22
Pemanfaatan Penginderaan Jauh sebagai Inovasi Pendukung Pertanian Modern.....	27

lereng (LS), serta pengelolaan tanaman (CP). Terasering terbukti efektif dalam menekan laju erosi melalui pengurangan kecepatan aliran permukaan, peningkatan infiltrasi, serta pemendekan panjang lereng. Beberapa tipe

dengan upaya konservasi memperparah erosi, pelapukan, dan pencucian unsur hara, terutama di wilayah beriklim tropis basah, yang pada akhirnya mengakibatkan kerusakan tanah serta penurunan kesuburan (Siswanto et al. 2021). Salah satu tantangan utama dalam pengelolaan lahan pertanian di daerah dataran tinggi dan lahan miring adalah erosi tanah. Erosi di kawasan ini diperparah oleh tingginya curah hujan, lereng yang curam, struktur tanah yang rapuh, serta teknik pengolahan lahan yang kurang tepat.

Erosi menjadi salah satu penyebab utama degradasi tanah di Indonesia. Erosi merupakan proses perpindahan atau pengangkutan tanah dari satu lokasi ke lokasi lain oleh agen alami seperti air dan angin (Andriyani et al. 2019). Proses ini menyebabkan tanah yang subur tergerus dan terbawa, kemudian mengendap di tempat lain. Faktor-faktor penyebab erosi antara lain adalah iklim, topografi, karakteristik tanah, vegetasi, dan cara pengelolaan lahan. Erosi umumnya terjadi akibat penggunaan lahan yang tidak sesuai peruntukan, pengolahan tanah yang keliru, serta minimnya penerapan prinsip-prinsip konservasi tanah dan air (Anau et al. 2023). Oleh karena itu, diperlukan strategi penanganan dan pengelolaan lahan yang tepat agar pengembangan sektor pertanian dapat berjalan tanpa merusak lingkungan. Upaya pencegahan erosi sangat penting dilakukan karena jika dibiarkan, akan terjadi ketidakseimbangan lingkungan dan penurunan kesuburan tanah, yang selanjutnya berdampak pada menurunnya produktivitas lahan.

Salah satu metode konservasi yang efektif di lahan miring adalah pembuatan terasering. Terasering adalah bentuk pengolahan lahan yang membentuk teras dengan kemiringan ke arah dalam (*reverse back slope*), yang dilengkapi dengan bangunan tambahan untuk mengatur dan menyalurkan air permukaan secara terkendali. Sejak diberlakukannya Instruksi Presiden tentang penghijauan, terasering telah menjadi bagian dari upaya pelestarian lingkungan. Di Indonesia, fungsi utama terasering adalah memperpendek panjang lereng, menghambat aliran air permukaan, meningkatkan infiltrasi, serta mengurangi laju erosi (Anau et al. 2023). Melalui karya tulis ini, akan dibahas secara mendalam mengenai efektivitas terasering sebagai metode konservasi tanah, khususnya dalam menekan laju erosi pada lahan pertanian. Berdasarkan latar belakang tersebut, penulisan karya tulis ini bertujuan untuk mengidentifikasi penyebab utama erosi tanah pada lahan pertanian dan mengkaji peran dan efektivitas sistem terasering dalam menekan laju erosi tanah.

## II. PENGERTIAN & JENIS-JENIS EROSI

Erosi merupakan fenomena terangkutnya partikel-partikel tanah dengan volume yang relatif kecil akibat adanya interaksi berupa pengangkutan oleh agensia seperti air dan

angin yang bersifat abrasif pada kecepatan tertentu kemudian diendapkan di tempat lain (Kadir et al. 2022). Erosi terbagi atas erosi alur (*rill*), erosi parit (*Gully*), pedestal, *armour layer*, singkapan akar tanaman/pohon, *solution notches*, serta *sediment in drain*. Erosi alur (*rill*) diartikan sebagai saluran mikro atau fase peralihan antara erosi lembar dan erosi parit (*Gully*). Ukuran erosi alur relatif kecil sehingga bisa diratakan pada proses pengolahan tanah (Naharuddin, 2020).

### 1. Erosi alur

Erosi alur merupakan alur-alur yang terbentuk oleh aliran air akibat kemiringan lereng yang curam dan panjang sehingga terkonsentrasi di saluran-saluran yang sempit. Erosi alur disebabkan ketahanan tanah yang rendah terhadap daya pukulan air hujan dan konsentrasi aliran permukaan sehingga membentuk alur-alur kecil (Meviana et al. 2024).



Gambar 1. Erosi alur (*rill*)  
(Sumber: Dokumentasi Pribadi)

### 2. Erosi Parit (*Gully*)

Erosi parit (*Gully*) merupakan proses lanjut dari erosi alur (*rill*) yang dimulai dari pengikisan ringan kemudian berkembang seiring berjalannya waktu. *Gully* terlihat sebagai cekungan dalam yang membentuk saluran. *Gully* dapat terus berkembang hingga mencapai dasar batuan induk, apabila sudah mencapai tahap tersebut maka *Gully* akan mengalami perkembangan tingkat lanjut ke samping.



Gambar 2. Erosi Parit (*Gully*)  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

### 3. Pedestal

Pedestal merupakan sisa lapisan tanah yang terlihat seperti tiang-tiang tanah menonjol dari permukaan tanah yang tererosi dan dilindungi oleh material yang kuat, seperti batu atau akar tanaman. Penyebab utama terbentuknya pedestal yaitu terjangan butiran-butiran air

hujan yang menimpa tanah. Permukaan tanah yang tidak terlindungi batu atau akar tanaman akan terkikis, sedangkan bagian yang terlindungi akan tetap terlindungi.



Gambar 3. Pedestal  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

#### 4. *Armour layer*

*Armour layer* menunjukkan bahwa partikel tanah yang kasar di permukaan tanah terdistribusi secara acak di topsoil karena partikel tanah yang lebih halus sudah terkikis. Kenampakan tersebut menjadi bukti bahwa material yang lebih halus sudah tererosi terlebih dahulu sehingga meninggalkan material yang lebih kasar.



Gambar 4. *Armour layer*  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

#### 5. Singkapan Akar Tanaman

Singkapan akar tanaman terjadi ketika bagian atas tanah yang menutupi dan melindungi akar tanaman terkikis oleh agensia seperti air atau angin sehingga akar-akar tersebut menjadi terlihat di permukaan. Singkapan akar tanaman biasanya ditemukan pada lereng-lereng curam atau area dengan laju erosi tinggi, dimana tanah tidak lagi mampu menahan dan melindungi akar tanaman.



Gambar 5. Singkapan akar tanaman  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

#### 6. *Solution notches*

*Solution notches* dapat digunakan sebagai indikator erosi melalui tinggi tanah awal. Kenampakan tersebut muncul pada singkapan batuan besar. *Solution notches* terbentuk akibat adanya reaksi kimia pada proses pelapukan antara tanah, udara, dan batuan yang menciptakan *notch* (lekukan) pada batuan sehingga ketika lapisan tanah mulai melapuk dan tererosi, *notch* (lekukan) pada batuan tadi akan tampak lebih jelas.



Gambar 6. *Solution notches*  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

#### 7. *Sediment in drain*

*Sediment in drain* merupakan salah satu jenis erosi akibat terbawanya sedimen halus oleh limpasan kemudian terendapkan di saluran air. Saluran tersebut bisa berupa saluran alami maupun saluran buatan seperti saluran irigasi. Penumpukan sedimen di saluran air menyebabkan pendangkalan, mengurangi kapasitas saluran, serta berpotensi menimbulkan genangan air di area sekitarnya.



Gambar 7. *Sediment in drain*  
(Sumber: Dokumentasi pribadi)

### III. FAKTOR PENYEBAB EROSI

Secara umum, erosi terbagi atas erosi aktual dan erosi potensial. Erosi aktual merupakan erosi yang terjadi akibat adanya interaksi aktivitas manusia sehari-hari dengan faktor alam, sedangkan erosi potensial merupakan jumlah erosi maksimum yang dapat terjadi dalam keadaan tertentu tanpa ada campur tangan manusia (Arifandi dan Ikhsan, 2019). Erosi aktual dihitung dengan mempertimbangkan faktor atau indeks seperti erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), kelerengan (LS), serta pengelolaan tanaman (CP), sedangkan erosi potensial hanya dihitung dengan mempertimbangkan variabel erosivitas hujan (R), erodibilitas

tanah (K), dan kelereng (LS) (Arifandi dan Ikhsan, 2019). Faktor erosi meliputi erosivitas hujan (R), erodibilitas tanah (K), kemiringan dan panjang lereng (LS), serta faktorutupan vegetasi dan pengelolaan lahan (CP) yang sangat erat kaitannya terhadap besarnya erosi (Farikha *et al.* 2023).

Faktor erosivitas hujan (R) merupakan kemampuan hujan melalui energi kinetik yang menyebabkan erosi pada tanah. Faktor erodibilitas tanah (K) merupakan tingkat kerentanan tanah terhadap pengaruh energi kinetik dari agensia berupa air hujan dan angin yang menyebabkan erosi (Naharuddin, 2020). Faktor lereng (LS) merupakan salah satu faktor yang sangat berpengaruh terhadap aliran permukaan dan erosi. Indeks lereng terdiri atas kemiringan dan panjang lereng, semakin tinggi kemiringan dan panjang lereng maka semakin tinggi pula kemungkinan terjadinya erosi. Faktorutupan vegetasi dan pengelolaan lahan (CP) merupakan faktor pengelolaan tanaman dan pengelolaan tanah. Faktor CP merupakan parameter untuk menentukan besarnya erosi yang dapat dikendalikan oleh manusia karena upaya pengelolaan lahan dapat direncanakan untuk diterapkan guna mengurangi erosi (Mulia *et al.* 2023).

#### IV. PENGERTIAN KONSERVASI TANAH & AIR

Konservasi merupakan upaya yang dilakukan manusia untuk melestarikan dan melindungi alam. Konservasi tanah dan air adalah tindakan penyesuaian potensi komponen-komponen tanah dan air dengan pengelolaannya agar terjadi kesinambungan fungsinya (Hutagaol, 2015). Konservasi tanah didefinisikan sebagai pemanfaatan bidang tanah yang sesuai dengan kemampuan tanah tersebut serta memperlakukan tanah dengan syarat-syarat tertentu agar tidak cepat rusak, tetapi produktivitasnya dapat maksimal. Tiga prinsip utama dalam konservasi tanah, yaitu menjaga tanah agar tahan terhadap penghancuran dan pengangkutan, meningkatkan kapasitas infiltrasi, melindungi permukaan tanah dari pukulan langsung air hujan dan menjaga kesuburan tanah, serta mengatur aliran permukaan agar air yang mengalir tidak merusak kondisi tanah (Triwanto, 2024). Konservasi air merupakan upaya pengaturan penggunaan air agar terjadi keseimbangan tata air. Prinsip konservasi air adalah pemanfaatan air hujan dengan seefisien mungkin, pengaturan waktu aliran agar air hujan tidak merusak alam, serta tersedia cukup air ketika musim kemarau tiba (Hutagaol, 2015).

Konservasi tanah dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu vegetatif, kimiawi, dan mekanis. Konservasi secara vegetatif adalah konservasi yang berdasarkan pada peranan tanaman untuk mengurangi erosi. Peranan tanaman yang dimaksud yaitu pemanfaatan batang, ranting, dan dedaunan untuk menghalangi tumbukan butir hujan penyebab hancurnya agregat tanah serta akar-akar tanaman yang

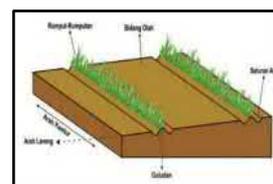
berperan dalam memperbesar kapasitas infiltrasi, memperbaiki porositas, dan stabilisasi butiran hujan. Konservasi secara kimiawi merupakan konservasi yang memanfaatkan bahan-bahan pemantap tanah. Metode mekanik disebut juga metode sipil teknis merupakan bentuk konservasi dengan membentuk permukaan lahan agar laju aliran permukaan berkurang dan mengarahkannya keluar dari lahan tetapi erosi yang terbawa dapat tereduksi (Kironoto *et al.* 2020). Metode mekanik mencakup berbagai tindakan, seperti pengolahan tanah sesuai kontur, pembuatan terasering, pembuatan guludan, pembangunan saluran pembuangan air, bangunan terjunan air, pembuatan rorak, bangunan check dam, dan pemasangan sumbat pada *Gully* (Erwanto *et al.* 2021).

#### V. TERASERING SEBAGAI UPAYA KONSERVASI

Terasering merupakan suatu bangunan konservasi tanah dan air yang dibuat secara mekanik. Terasering adalah kondisi lereng yang dibuat bertangga-tangga sebagai penambah stabilitas lereng, memperpanjang daerah resapan air, memperkecil kemiringan lereng, memperlambat aliran air permukaan, serta dapat digunakan untuk landscaping (Saputro *et al.* 2017). Menurut Ran *et al.* (2020), terasering juga signifikan dalam memperluas area lahan subur dan mendukung upaya konservasi tanah dan air. Terasering terdiri dari beberapa jenis, yaitu:

##### 1. Teras Datar

Teras datar merupakan salah satu jenis bangunan konservasi tanah yang dibuat sejajar dengan garis kontur pada lahan dengan kemiringan kurang dari 3%. Bangunan teras datar dilengkapi dengan saluran di bagian atas dan bawahnya. Teras jenis ini sangat berguna untuk mengatur dan menyimpan air, terutama di wilayah dengan curah hujan yang relatif rendah dan lereng sekitar 2%, karena mampu menahan dan menyerap air secara efektif. Tujuan utama dari pembangunan teras adalah untuk mencegah pengikisan tanah dan memperbaiki sistem drainase, sehingga saluran-saluran yang dibuat harus mengikuti pola garis kontur lahan (Anwar *et al.* 2025).

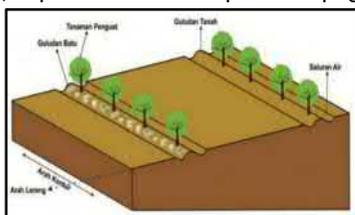


Gambar 8. Pandangan penampang teras datar (Sumber: Fitriani & Kuswadi, 2021)

##### 2. Teras Kredit

Teras kredit merupakan salah satu metode konservasi tanah yang diterapkan pada lahan dengan kemiringan antara 3 hingga 10 persen sebagai upaya mempertahankan kesuburan tanah. Pembangunannya

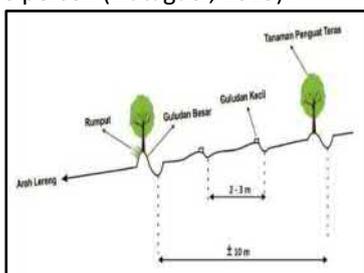
dimulai dengan membuat guludan sejajar garis kontur, lalu ditanami tanaman penguat seperti lontoro gung. Guludan ini dibuat dengan jarak 5 hingga 12 meter antar baris. Tanaman penguat berfungsi menahan sedimen dari aliran air, sehingga tanah yang terbawa erosi tertahan di sekitar guludan. Lama-kelamaan, permukaan tanah menjadi lebih rata karena bagian atas lahan menurun dan bagian bawah terangkat oleh timbunan sedimen. Perataan ini bisa dipercepat dengan menarik tanah dari atas ke bawah secara berkala, misalnya setiap tujuh atau tiga kali pengolahan tanah. Tanaman penguat idealnya ditanam rapat, namun jika tidak memungkinkan, guludan dapat diperkuat menggunakan rumput atau batu (Yunus *et al.* 2024). Menurut Anwar *et al.* (2025), teras kredit terbentuk secara perlahan seiring waktu akibat material tanah yang terbawa erosi tertahan dan menumpuk di balik deretan tanaman yang ditanam rapat sejajar dengan garis kontur, seperti barisan rumput atau pagar tanaman.



Gambar 9. Pandangan penampang teras kredit (Sumber: Fitriani & Kuswadi, 2021)

### 3. Teras Guludan

Teras gulud merupakan susunan barisan guludan yang dilengkapi dengan saluran air di bagian belakangnya. Metode ini juga dikenal dengan sebutan guludan bersaluran. Struktur teras gulud terdiri dari tiga bagian utama, yaitu guludan, saluran air, dan bidang olah. Saluran air berfungsi untuk mengalirkan limpasan permukaan dari bidang olah menuju saluran pembuangan air. Untuk mengimbangi berkurangnya luas lahan olah, area teras dapat dimanfaatkan dengan menanam tanaman bernilai ekonomi seperti katuk, cabai rawit, dan jenis tanaman cash crops lainnya (Indradewa, 2021). Teras guludan digunakan pada kemiringan lereng 15 hingga 60 persen (Hutagaol, 2015).

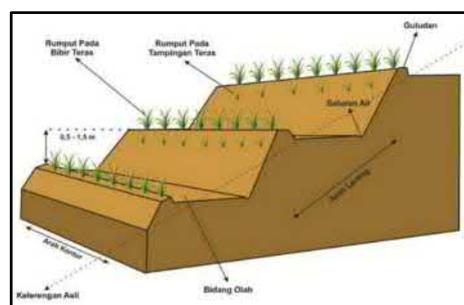


Gambar 10. Pandangan penampang teras guludan (Sumber: Fitriani & Kuswadi, 2021)

### 4. Teras Bangku

Teras bangku merupakan salah satu jenis teras yang banyak diterapkan di berbagai negara, khususnya di wilayah perbukitan. Teras ini dibangun pada lahan

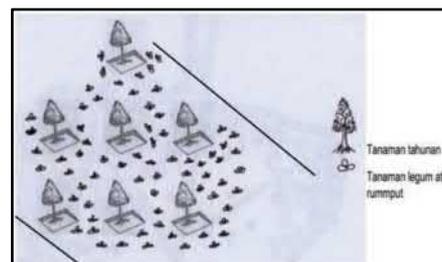
dengan kemiringan lebih dari 10 persen dan memiliki bagian belakang yang curam. Ukuran lebar bangku dan tinggi anak tangga disesuaikan dengan kemiringan lahan. Pada lahan dengan kemiringan sedang, lebar teras umumnya sekitar 7,5 meter. Teras bangku terdiri atas deretan jalur mendatar yang disusun melintang lereng, dengan jarak vertikal yang seragam dan dipisahkan oleh tepian berbatu serta penahan dari rumput. Terdapat dua jenis teras bangku, yaitu teras konservasi dan teras dataran tinggi. Teras konservasi, atau disebut juga teras irigasi, digunakan untuk menyimpan air atau mengairi lahan secara tergenang, seperti pada sawah. Sementara itu, teras dataran tinggi diperuntukkan bagi tanaman tadah hujan maupun tanaman beririgasi, dengan bentuk miring ke luar agar air dapat mengalir ke bawah. Teras bangku sangat sesuai diterapkan pada lahan pertanian skala besar, terutama yang menggunakan sistem mekanis dan menanam komoditas bernilai ekonomi tinggi (Suswana, 2023). Secara sederhana, teras bangku dibuat dengan cara memotong lereng, kemudian bagian bawah diratakan sebagai areal penanaman.



Gambar 11. Pandangan penampang teras bangku (Fitriani & Kuswadi, 2021)

### 5. Teras Individu

Teras individu merupakan jenis teras yang cocok diterapkan di lahan perkebunan dengan kemiringan 30 hingga 50 persen. Teras individu terutama diterapkan pada wilayah dengan curah hujan rendah dan tanah yang memiliki lapisan cukup baik. Penamaan teras individu dikarenakan setiap tanaman diberi teras sendiri, sehingga pengelolaan air dan tanah bisa lebih terfokus pada masing-masing tanaman (Anwar *et al.* 2025).



Gambar 12. Pandangan teras individu (Mansyur *et al.* 2021)

## VI. LAJU EROSI & DAMPAK EROSI

Erosi kini menjadi masalah yang mendapat perhatian serius, karena dampaknya yang luas terhadap lingkungan. Erosi adalah proses pengikisan lapisan tanah yang kemudian menghasilkan sedimen. Erosi dapat menghilangkan lapisan tanah yang subur dan bermanfaat untuk pertumbuhan tanaman, serta kemampuan tanah dalam menyerap dan menahan air. Mengetahui tingkat erosi di suatu wilayah sangat penting, karena hal ini memberikan informasi tentang jumlah tanah yang hilang di area tersebut. Salah satu faktor yang mempengaruhi laju erosi adalah faktor kemiringan lereng (LS) (Sadewo *et al.* 2023). Selain itu, menurut Shen *et al.* (2023) bentuk lereng juga memiliki pengaruh dalam menentukan laju erosi tanah melalui efek gabungan antara gradien dan panjang lereng sebagai faktor topografi.

Laju erosi dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kemiringan lereng (LS). Faktor kelerengan (LS) adalah faktor kompleks yang mempengaruhi hasil prediksi erosi (Sadewo *et al.* 2023). Faktor lereng memiliki pengaruh besar terhadap erosi. Lereng dapat mempengaruhi besarnya energi penyebab erosi dari kecepatan aliran air permukaan yang dihasilkan dari curah hujan. Karakteristik lereng yang menentukan besar energi penyebab erosi meliputi kemiringan dan panjang lereng sering disebut sebagai LS (*Length and Slope*) (Eryani, 2021). Farikha *et al.* (2023) dalam penelitiannya menyatakan bahwa semakin panjang dan curam lereng, maka semakin besar pula dampak kecepatan limpasan permukaan atau run off yang dapat membawa partikel tanah dalam jumlah yang lebih besar, terutama pada kemiringan lereng yang sangat curam. Putra (2021) menyatakan bahwa meskipun lereng yang curam meningkatkan resiko erosi, tingkat keparahannya tidak selalu tinggi karena jenis vegetasi dan teknik pengelolaan yang diterapkan di daerah tersebut dapat mengurangi atau bahkan menambah laju erosi.

Kehilangan unsur hara dari permukaan tanah merupakan dampak utama dari proses erosi, karena sebagian besar hara terkonsentrasi pada lapisan atas tanah atau *top soil*. Ketika erosi terjadi, tanah yang awalnya memiliki tingkat kesuburan tinggi bisa mengalami penurunan kualitas akibat terangkutnya mineral-mineral penting yang dibutuhkan tanaman. Erosi permukaan yang terjadi melalui aliran dan limpasan air di permukaan tanah, berperan besar dalam menghilangkan kandungan hara. Selain menyebabkan hilangnya lapisan olah, erosi juga menurunkan kesuburan tanah karena unsur hara terbawa bersama air permukaan dan partikel tanah yang terangkut. Semakin besar tingkat erosi dan semakin tinggi kandungan hara dalam tanah, maka semakin besar pula jumlah hara yang hilang (Pratama *et al.* 2022).

## VII. CARA KERJA TERASERING

Terasing merupakan salah satu upaya konservasi tanah dan air yang bertujuan untuk mengendalikan erosi. Dalam pengendalian erosi, fungsi teras adalah mengurangi panjang dan kemiringan lereng, memperlambat kecepatan aliran permukaan, mengarahkan aliran permukaan ke saluran pembuangan tanpa menimbulkan erosi, serta meningkatkan infiltrasi air ke dalam tanah (Rossa & Chofyan, 2021). Bentuk dan tipe teras yang digunakan dapat bervariasi, bergantung pada tingkat kemiringan lahan, kedalaman efektif tanah, tingkat kepekaan tanah terhadap erosi, serta potensi terjadinya longsor. Umumnya, semakin curam kemiringan suatu lahan, maka jarak antar teras perlu dibuat lebih rapat agar efektif dalam menahan aliran air dan tanah (Sari, 2017).

Sebagai bentuk penerapan konservasi mekanis, terasing memainkan peran penting dalam mengurangi potensi kerusakan tanah pada lahan-lahan miring. Terasing merupakan salah satu bentuk konstruksi mekanis dalam konservasi tanah dan air yang dirancang dengan cara memotong dan menimbun tanah secara melintang terhadap arah lereng. Tujuan utama dari terasing adalah untuk memperpendek panjang lereng atau mengurangi tingkat kemiringannya, sehingga mampu menurunkan kecepatan aliran air permukaan dan meningkatkan daya serap air ke dalam tanah. Dengan demikian, risiko kehilangan tanah akibat erosi dapat diminimalkan. Selain itu, terasing berperan dalam menciptakan struktur lereng bertingkat yang tidak hanya memperkuat stabilitas lereng, tetapi juga mempermudah perawatan lahan, memperluas area resapan air, serta dapat dimanfaatkan untuk keperluan estetika atau landscaping (Pramudo *et al.* 2016).

Efektivitas terasing dalam pengendalian erosi telah didukung oleh berbagai penelitian yang menunjukkan penurunan signifikan terhadap laju erosi dan volume limpasan permukaan. Dengan memperpendek jarak tempuh air dan meningkatkan waktu tunda air di permukaan, sistem ini memungkinkan lebih banyak air meresap ke dalam tanah. Hal ini bukan hanya mengurangi potensi degradasi tanah, tetapi juga meningkatkan ketersediaan air tanah untuk tanaman. Oleh karena itu, terasing tidak hanya berfungsi sebagai pengendali erosi, tetapi juga berkontribusi terhadap pelestarian kesuburan tanah dan peningkatan ketersediaan air bagi tanaman.

## VIII. EFEKTIVITAS TERASERING

Terasing merupakan salah satu teknik konservasi yang banyak digunakan untuk menekan laju erosi. Manfaat dari pembuatan terasing yakni dapat mengurangi kecepatan aliran permukaan. Hal ini menyebabkan kecepatan aliran permukaan berkurang, sehingga memperkecil daya

kikis terhadap tanah dan erosi. Peresapan air ke dalam tanah juga dapat diperbesar. Selain itu, dapat menampung serta mengendalikan arah dan kecepatan aliran permukaan ke tempat yang lebih rendah (Anau *et al.* 2023).

Menurut penelitian Fahrudin *et al.* (2023) yang menganalisa laju erosi dengan lereng termasuk kategori curam - sangat curam. Kemiringan lereng mencapai >450 yakni 118% sehingga diupayakan dengan membuat metode konservasi teras bangku konstruksi ukuran sedang. Konservasi bentuk teras bangku mampu menurunkan erosi yang terjadi. Dugaan erosi yang terjadi mencapai 46.10 ton/ha/th menurun menjadi 9.91 ton/ha/th.

Penelitian Rutebuka *et al.* (2021) di Rwanda menganalisis potensi besar terasering yakni teras bangku dalam menurunkan laju erosi tanah dengan pembangunan yang benar dan kombinasi praktik agronomi yang mendukung kesuburan tanah. Erosi tanah di Rwanda terjadi di daerah Congo Nile pegunungan vulkanik di barat laut dan Buberuka Highlands di utara karena kondisi lereng curam dan curah hujan yang tinggi. Bahkan 40% lahan di Rwanda memiliki risiko erosi. Bentuk konservasi yang dilakukan yakni pembentukan terasering. Teras bangku dapat mengurangi limpasan hingga 70-85% di daerah Murehe dan Tangata. Teras bangku juga mengurangi kehilangan tanah menjadi 93 dan 98%.

### IX. TANTANGAN & KETERBATASAN

Terasing telah banyak memberikan manfaat terhadap pengelolaan erosi. Terasing menyediakan layanan ekosistem salah satunya yakni mengurangi limpasan dan sedimen mencapai 41,9% dan 52%. Manfaat terasing juga berdampak terhadap konservasi keanekaragaman hayati dalam skala lokal. Namun, teknik konservasi dengan terasing selain memiliki keunggulan juga akan menyebabkan kerugian yang mungkin terjadi. Dampak yang sering terjadi yakni dapat disebabkan akibat desain yang tidak memadai, perawatan yang salah, dan terlantarnya lingkungan pertanian. Ada beberapa dampak yang dapat ditimbulkan akibat pembentukan teras antara lain gangguan sirkulasi air, pergerakan massa akibat terasing yang buruk, dan penurunan kualitas tanah. Konservasi terasing di area yang luas akan meningkatkan volume air pada lahan terasing sendiri sehingga mengurangi volume aliran keluar, mengubah jalur limpasan, dan mengurangi konektivitas hidrologi. Hal ini menyebabkan limpasan tidak menghubungkan saluran daerah tangkapan air jika terasing dibangun sehingga mengganggu sirkulasi air (Deng *et al.* 2021).

Salah satu tantangan pada penerepan terasing yaitu tingginya biaya pembuatan atau pembangunannya, namun terdapat solusi untuk mengurangi tingginya biaya pembuatan terasing dengan menggunakan metode teras gulud. Teras gulud memiliki kelebihan tidak memerlukan banyak tenaga

kerja, sehingga biaya tenaga kerja dapat ditekan. Selain itu, proses pembuatan teras gulud juga relatif lebih cepat, sehingga waktu yang dibutuhkan lebih singkat dan minim biaya (Diu *et al.* 2023). Teras gulud juga dapat menyimpan air pada saluran air, sehingga membantu mengendalikan aliran air dan mencegah erosi. Dengan demikian, teras gulud tidak hanya lebih ekonomis, tetapi juga lebih efektif dalam mengelola sumber daya alam. Dibandingkan dengan teras bangku, teras gulud jauh lebih mudah untuk dibuat dan dipelihara. Teras bangku membutuhkan banyak tenaga kerja, waktu yang lama, dan biaya yang besar, serta memerlukan keahlian khusus (Diu *et al.* 2023).

Terasing meskipun disarankan menjadi teknik konservasi yang efektif, namun memiliki dampak buruk apabila perencanaannya kurang baik. Pembuatan terasing harus diperhatikan karena jika tepat justru akan menyebabkan erosi alur dan erosi parit. Dampak ekologi akibat pembuatan teras telah terjadi di Ningdu, Cina Selatan. Erosi parit yang parah terjadi karena aliran limpasan permukaan terus mengalir pada sepanjang teras yang miring kemudian berkonsentrasi pada bagian bawah lereng. Selain itu, terasing yang baru dibangun dapat menyebabkan kualitas tanah sawah. Hal ini karena lapisan tanah atas yang subur akan hilang, struktur menjadi rusak, dan unsur hara yang ikut hilang akibat tanah dan air yang hilang (Deng *et al.* 2023).

### X. KOMBINASI TERASERING DENGAN VEGETASI PENUTUP

Sebagai upaya menjaga kelestarian lahan dan mencegah kerusakan lingkungan seperti erosi, berbagai metode konservasi tanah telah dikembangkan, salah satunya adalah penerapan terasing yang dipadukan dengan vegetasi penutup. Kombinasi terasing dan vegetasi penutup merupakan pendekatan yang sangat efektif dalam mencegah erosi tanah, khususnya di daerah lereng atau perbukitan. Pembuatan terasing yang dikombinasikan dengan vegetasi penutup di bagian guludan dapat memperlambat aliran air permukaan dan mengurangi daya rusak air terhadap tanah. Vegetasi penutup berperan penting dalam menekan laju erosi tanah melalui kanopi, serasah, dan akar (Basuki *et al.* 2024). Akar-akar tanaman memiliki peran untuk membantu mengikat partikel tanah dan pengambilan atau peresapan air untuk mengurangi aliran permukaan. Batang, ranting, dan daun berfungsi sebagai pelindung yang mengurangi hantaman langsung butiran air hujan terhadap permukaan tanah, sehingga dapat mencegah kerusakan struktur agregat tanah. Selain itu, daun-daun yang menutupi tanah (serasah) membantu memperlambat laju aliran air di permukaan, sehingga kemampuan air untuk mengikis dan mengangkut partikel tanah menjadi berkurang (Kironoto *et al.* 2020).

## XI. PENUTUP

Berdasarkan pembahasan tentang peran terasering dalam menekan laju erosi dapat disimpulkan bahwa Erosi merupakan proses pengikisan tanah oleh air atau angin yang berdampak serius terhadap penurunan kesuburan dan produktivitas lahan, khususnya di daerah berlereng dan beriklim tropis seperti Indonesia. Erosi dibedakan menjadi erosi aktual dan potensial, yang dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti curah hujan (R), sifat tanah (K), kemiringan dan panjang lereng (LS), serta tutupan vegetasi dan pengelolaan lahan (CP). Untuk mengatasi hal ini, konservasi tanah dan air sangat diperlukan, salah satunya dengan metode terasering. Terasering terbukti efektif mengurangi kecepatan aliran permukaan, memperbesar infiltrasi, dan memperpendek lereng, sehingga mampu menekan laju erosi. Berbagai jenis teras seperti teras datar, kredit, guludan, bangku, dan individu dapat diterapkan sesuai kondisi lahan. Kombinasi terasering dengan vegetasi penutup meningkatkan efektivitasnya dalam mencegah kerusakan tanah. Namun, terasering juga memiliki tantangan teknis dan ekologis, terutama jika desain dan perawatannya tidak tepat. Oleh karena itu, perencanaan yang matang dan pengelolaan berkelanjutan sangat penting agar fungsi konservasi dapat berjalan optimal dan lahan tetap produktif dalam jangka panjang.

Berdasarkan hasil pembahasan dan kesimpulan yang telah dikemukakan, disarankan agar penerapan teknik konservasi tanah dan air, khususnya terasering, dilakukan secara tepat sesuai dengan karakteristik lahan, seperti kemiringan, kedalaman tanah, dan tingkat erodibilitas. Dalam praktiknya, pembangunan terasering hendaknya disertai dengan perencanaan teknis yang matang dan pemeliharaan rutin untuk mencegah kerusakan struktural yang dapat menimbulkan erosi lanjutan. Selain itu, perlu dilakukan integrasi antara terasering dan vegetasi penutup agar efektivitas pengendalian erosi semakin optimal.

## DAFTAR PUSTAKA

Anau R, D Rumambi, dan L Kalesaran. 2023. Pengaruh teras bangku dalam mengurangi erosi tanah pada lahan pertanian di Desa Ponompiaan Kabupaten Bolaang Mongondow. *Cocos*. 15(1) : 1-9.

Anau R, D Rumambi, dan L Kalesaran. 2023. Pengaruh teras bangku dalam mengurangi erosi tanah pada lahan pertanian di Desa Ponompiaan Kabupaten Bolaang Mongondow. *Jurnal COCOS*: 15(1):1-9.

Andriyani I, S Wahyuningsih, dan S Suryaningtias. 2019. Perubahan tata guna lahan di Sub DAS Rembangan – Jember dan dampaknya terhadap laju erosi. *Agritech*. 39 (2) : 117-127.

Anwar K, S Winarso, A Monde, HR Ratnaningsih, NL Kartini, R Sulistiyowati, S Ristiyana, BE Somba, NL Widayari, Amirudin, dan FA Rahman. 2025. *Dasar-Dasar Ilmu Tanah*. Azzia Karya Bersama, Kota Padang.

Arifandi F, dan C Ikhsan. 2019. Pengaruh sedimen terhadap umur layanan pada tampungan mati (dead storage) Waduk Krisak di Wonogiri dengan metode USLE (Universal Soil Losses Equation). *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*: 430-439.

Basuki TW Saputra, L Mutmainnah, TC Setiawari, M Mandala, dan VK Sari. 2024. Pemetaan prediksi erosi tanah pada litologi breksi Argopura Gunung Argopura dengan pendekatan survai menggunakan metode USLE dan SIG. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 12(2): 341-354.

Deng C, G Zhang, Y Liu, X Nie, Z Li, J Liu, and D Zhu. 2023. *Advantages and disadvantages of terracing: a comprehensive review*. *International Soil and Water Conservation Research* 9(2021):344-359.

Diu RH, Z Ilahude, dan Nurdin. 2023. Efektivitas terasering pada pertanaman jagung (*Zea mays L.*) di Desa Suka Damai Kecamatan Lemito Kabupaten Pohuwato. *Jurnal Agroteknotropika*. 12(1): 53-59.

Erwanto Z, DD Pranowo, YP Gumelar, I Wahyudin, dan MR Husamadi. 2021. Konservasi lahan *Gully* plugs untuk pengendali erosi di DAS Badeng Desa Sumberbulu, Songgon, Banyuwangi. *Panrita Abdi-Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*. 5(4): 475-487.

Eryani GAP. 2021. *Aplikasi Sistem Informasi Geografis untuk Pengelolaan DAS Terpadu*. Scopindo Media Pustaka, Surabaya.

Fahrudin MZ, A R Saidy, A Mizwar, dan Badaruddin. 2023. Analisis laju erosi menggunakan metode Universal Soil Loss Equation (USLE) dan analisis tingkat bahaya erosi. *EnviroScienteeae*. 19(3):13-170.

Farikha, A, K Wijaya, dan Purwadi. 2023. Analisis erosi dan indeks bahaya erosi pada berbagai penggunaan lahan di Sub DAS Opak Hulu-Tengah. *Jurnal Ecosolum*. 12(2): 128-144.

Farikha, A, K Wijaya, dan Purwadi. 2023. Analisis erosi dan indeks bahaya erosi pada berbagai penggunaan lahan di Sub DAS Opak hulu-tengah. *Jurnal Ecosolum*, 12(2): 128-144.

Fitriani dan D Kuswadi. 2021. *Pertanian Berkelanjutan: Konsep dan Aplikasi*. Syiah Kuala University Press, Banda Aceh.

Gulo NO, SWA Lase, DST Laoli, M Gulo, dan NK Lase. 2024. Pemanfaatan lahan dengan sistem pengolahan yang baik dan penggunaan pupuk organik untuk menerapkan sistem pertanian berkelanjutan. *Penarik: Jurnal Ilmu Pertanian dan Perikanan*. 1(2) : 30-39.

- Hutagaol RR. 2015. Konservasi Tanah dan Air. Deepublish Publisher, Sleman.
- Inradewa D. 2021. Etnoagronomi Indonesia. Penerbit Andi, Sleman.
- Kadir S, Nurlina, W Ilham, I Ridwan, Badaruddin, H F Nurofiq, R Hariani, W Hartati, dan H Harman. 2022. Kajian Tingkat Bahaya Erosi: Untuk Merumuskan dan Mengevaluasi Dinamika Kerentanan Lingkungan di Suatu Daerah Aliran Sungai. Surabaya: Global Aksara Pers.
- Kironoto BA, B Yulistiyanto, dan MR Olih. 2020. Erosi dan Konservasi Lahan. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Kironoto BA, B Yulistiyanto, dan MR Olih. 2020. Erosi dan Konservasi Lahan. Gadjah Mada University Press, Sleman.
- Mansyur NI, Al Ramdhani, W Wahyudi, dan Amarullah. 2021. Evaluasi Lahan: Perspektif Lahan dalam Pengembangan Wilayah Pertanian Kalimantan Utara. Syiah Kuala University Press, Banda Aceh.
- Meviana I, D Kurniawati, dan AS Ferdiannanda. 2024. Karakteristik tipe erosi lahan di Desa Wadung Kecamatan Pakisaji Kabupaten Malang. Jurnal Swarnabhumi: Jurnal Geografi dan Pembelajaran Geografi, 9(1): 74-80.
- Mulia A, M Manfarizah, dan H Basri. 2023. Penentuan nilai CP maksimum pada lahan kopi arabika berdasarkan metode USLE di Kabupaten Aceh Tengah. Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian, 8(2): 453-460.
- Naharuddin. 2020. Konservasi Tanah dan Air. Bandung: Penerbit Media Sains Indonesia.
- Pramudo LTH, N Djarwanti, dan NS Surjandari. 2016. Analisis stabilitas lereng dengan terasering di Desa Sendangmulyo, Tirtomoyo, Wonogiri. e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL. 4(2): 470-475.
- Pratama, ZW, M Syarif, dan H Junedi. 2022. Dampak erosi terhadap kehilangan hara makro pada lahan agroforestry kopi dan kayu manis di Kecamatan Siulak Kabupaten Kerinci. Jurnal Agroecotania. 5(2): 14-22.
- Putra AK. 2021. Pemetaan kawasan rawan erosi menggunakan metode USLE (Universal Soil Loss Equation) studi kasus DAS Ciliwung Tengah. Jurnal Artesis, 1(1): 88-95.
- Ran Q, X Chen, Y Hong, S Ye, and J Gao. 2020. *Impacts of terracing on hydrological processes: a case study from the Loess Plateau of China*. Journal of Hydrology. 588: 1-13.
- Rossa dan I Chofyan. 2021. Penerapan konsep bukit berteras dengan kombinasi tanaman campuran. Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota. 16(1): 29-36
- Rutebuka J, A M Uwimanzi, O Nkundwakazi, DM Kagabo, JJM Mbonigaba, P Vermeir, and A Verdoot. 2021. *Effectiveness of terracing techniques for controlling soil erosion by water in Rwanda*. Journal of Environment Management. 277(2021):1-11.
- Sadewo W, K Subagiada, dan Djayus. 2023. Analisis klasifikasi laju erosi menggunakan metode Universal Soil Loss Equation (Usle) dengan sistem informasi geografi Kota Samarinda. Jurnal Geosains Kutai Basin. 6(1): 1-12.
- Saputro CD., N Djarwanti, dan YM Purwana. 2017. Analisis stabilitas lereng dengan terasering dan perkuatan bronjong di Desa Sendangmulyo, Tirtomoyo, Wonogiri. Matriks Teknik Sipil. 5(1): 137-144.
- Sari NP. 2017. Pentingnya terasering pada lahan miring perkebunan kopi. Warta: Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia. 29(3): 19-21.
- Shen Y, J Gu, G Liu, X Wang, H Shi, C Shu, Q Zhang, Z Guo, and Y Zhang. 2023. *Predicting soil erosion and deposition on sloping farmland with different shapes in northeast China by using 137Cs*. Catena. 229: 1-9.
- Siswanto, S. Y., M. I. S. Sule, I. N. Bari, dan D. L. Hakim. 2021. Peningkatan pemahaman petani tentang konservasi tanah dan air di Bayongbong, Garut. Wikrama Parahita : Jurnal Pengabdian Masyarakat. 5(2) : 109-113.
- Suswana S. 2023. Konservasi Tanah dan Air untuk Pertanian Berkelanjutan. Uwais Inspirasi Indonesia, Ponorogo.
- Triwanto J. 2024. Konservasi Lahan Hutan dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. UMM Press, Malang.
- Wijayanto H, S Anantayu, dan A Wibowo. 2021. Perilaku dalam pengelolaan lahan pertanian di kawasan konservasi Daerah Aliran Sungai (DAS) hulu Kabupaten Karanganyar. Agrihumanis : Journal of Agriculture and Human Resource Development Studies. 2(1) : 25-34.
- Yunus Al, S Suyadi, C Cengristitama, L Marlina, Y Yuliatrri, FA. Rahman, S Supriyadi, MS Ningsih, B Raco, dan MW Sari. 2024. Ilmu Tanah. Gita Lentera, Kota Padang..

# Fitoremediasi Sebagai Solusi Alternatif Pengendalian Cemaran Lingkungan

Wahyu Purbalisa dan Ina Zulaehah

Balai Perakitan dan Pengujian Lingkungan Pertanian

## RINGKASAN

Lingkungan dapat menjadi tercemar akibat dari dampak aktivitas manusia yang kurang memperhatikan alam sekitar. Adapun sumber pencemaran tersebut dapat berasal dari bekas pertambangan, limbah industri, pertanian, transportasi, dan lain-lain. Dalam jangka panjang pencemaran akan mempengaruhi kesehatan manusia dan kerusakan lingkungan. Fitoremediasi dapat dijadikan sebagai salah satu alternatif untuk mengatasi permasalahan tersebut. Teknologi fitoremediasi dengan menggunakan tanaman yang memiliki kemampuan untuk menyerap cemaran dari tanah, air, dan udara, selanjutnya mengubahnya menjadi senyawa yang tidak berbahaya. Mekanisme dalam fitoremediasi antara lain: fitoakumulasi, fitohidraulik, fitodegradasi, rhizodegradasi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi, dan rhizofiltrasi. Fitoremediasi merupakan teknologi yang inovatif dan ramah lingkungan, meskipun teknologi fitoremediasi memerlukan waktu yang relatif lama dan terkadang cemaran tidak dapat hilang sepenuhnya akibat konsentrasi yang terlalu tinggi. Kegiatan fitoremediasi memerlukan proses pemilihan jenis tanaman, identifikasi cemaran lingkungan, dan kesesuaian kondisi lahan.

## I. PENGERTIAN FITOREMEDIASI

**F**itoremediasi (*phytoremediation*) adalah proses penggunaan tanaman untuk membersihkan atau menghilangkan cemaran yang ada dalam tanah, air, dan udara. Pemanfaatan tanaman merupakan cara untuk memperbaiki kualitas lingkungan dengan memanfaatkan kemampuan alami tanaman untuk menyerap, menetralkan, atau mengurangi cemaran yang ada sehingga lingkungan bebas dari cemaran. Fitoremediasi merupakan suatu metode yang hemat, mampu menjangkau area yang luas, dan memiliki efek samping lebih minimal dibandingkan dengan metode pembersihan lainnya dengan kata lain lebih ramah lingkungan. Efektivitas fitoremediasi tergantung pada jenis tanaman yang digunakan, jenis cemaran, dan kondisi lingkungan tempat tanaman tersebut tumbuh. Fitoremediasi diharapkan dapat membantu menjaga kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan.

## II. SUMBER PENCEMARAN LINGKUNGAN

Cemaran berasal dari zat atau bahan yang tidak diinginkan yang masuk ke dalam lingkungan. Pencemaran merupakan suatu cara, proses, perbuatan yang mencemari atau mengotorkan. Lingkungan adalah segala sesuatu yang

berada di sekitar kita baik yang alami maupun buatan. Pencemaran lingkungan dapat berasal dari berbagai sumber, baik alami maupun antropogenik (aktivitas manusia). Sumber pencemaran lingkungan yang dibahas disini berasal dari tanah, air, dan udara. Sumber pencemaran tersebut dapat berasal dari limbah industri, pertanian, rumah tangga, transportasi, dan lain-lain. Cemaran tersebut dapat berupa logam berat, pestisida, pupuk kimia, gas buangan, pembakaran sampah, dan sebagainya. Cemaran tersebut ke lingkungan dapat mengakibatkan pencemaran pada lingkungan dan kesehatan manusia. Salah satu alternatif untuk mengurangnya adalah dengan menerapkan fitoremediasi.

## III. KARAKTERISTIK TANAMAN UNTUK REMEDIASI

Tanaman remediasi adalah tanaman yang digunakan untuk membersihkan atau memulihkan lingkungan dari kontaminasi zat-zat berbahaya seperti logam berat, pestisida, dan bahan kimia lainnya. Karakteristik tanaman yang bisa digunakan untuk proses remediasi memiliki ciri-ciri sebagai berikut:

### 1. Toleran Kontaminan

Tanaman harus mampu bertahan di lingkungan yang tercemar dengan zat berbahaya. Termasuk toleransi terhadap logam berat, bahan kimia organik, dan kondisi tanah yang buruk.

### 2. Kemampuan Akar yang Dalam dan Luas

Tanaman dengan sistem akar yang dalam dan luas dapat mencapai dan menyerap kontaminan yang berada jauh di dalam tanah.

### 3. Tingkat Pertumbuhan Cepat

Tanaman yang tumbuh cepat dapat mempercepat proses remediasi karena mampu menyerap lebih banyak kontaminan dalam waktu yang lebih singkat.

### 4. Kemampuan Fitoremediasi

Tanaman harus memiliki kemampuan untuk mengambil, mengakumulasi, mengubah, atau mendegradasi kontaminan. Hal tersebut tercakup dalam proses mekanisme fitoremediasi.

### 5. Biomassa Tinggi

Tanaman dengan biomassa tinggi dapat menyerap dan menyimpan lebih banyak kontaminan dalam jaringan tanaman mereka.

**6. Adaptasi Lingkungan Lokal**

Tanaman harus sesuai dengan kondisi iklim dan tanah di lokasi remediasi sehingga mereka dapat tumbuh dan berkembang dengan baik tanpa memerlukan banyak intervensi.

**7. Non-invasif**

Tanaman yang digunakan sebaiknya tidak invasif sehingga tidak mengganggu ekosistem lokal atau mengganggu tanaman asli.

**8. Kemampuan Translokasi Kontaminan**

Beberapa tanaman memiliki kemampuan untuk mentranslokasikan kontaminan dari akar ke bagian atas tanaman (daun dan batang), yang dapat memudahkan pemanenan dan pengelolaan tanaman yang tercemar.

**IV. HAL-HAL YANG PERLU DIPERHATIKAN DALAM MENERAPKAN FITOREMEDIASI**

Penerapan fitoremediasi memerlukan perencanaan dan pelaksanaan yang hati-hati untuk memastikan efektivitas dan keberlanjutan. Berikut adalah beberapa hal yang perlu diperhatikan:

**1. Pemilihan Tanaman yang Tepat**

- Pilih tanaman yang cocok untuk jenis kontaminan yang ada (logam berat, bahan organik, dll).
- Pertimbangkan karakteristik tanaman seperti toleransi terhadap kontaminan, kecepatan pertumbuhan, dan adaptasi terhadap lingkungan lokal.

**2. Analisis dan Karakterisasi Lokasi**

- Lakukan analisis tanah dan air untuk mengidentifikasi jenis dan konsentrasi kontaminan.
- Pahami kondisi fisik dan kimiawi tanah (pH, tekstur, kandungan nutrisi, dll).
- Pertimbangkan faktor lingkungan seperti iklim, curah hujan, dan suhu.

**3. Desain dan Penempatan Tanaman**

- Rencanakan tata letak tanaman untuk memastikan cakupan area yang tercemar secara maksimal.
- Pastikan tanaman memiliki cukup ruang untuk tumbuh dan mengembangkan sistem akar yang efektif.

**4. Pengelolaan Tanah dan Nutrisi**

- Perbaiki kondisi tanah jika diperlukan, misalnya dengan penambahan bahan organik atau pupuk.
- Pantau kebutuhan nutrisi tanaman secara berkala dan lakukan pemupukan jika diperlukan.

**5. Pengendalian Hama dan Penyakit**

- Terapkan metode pengendalian hama dan penyakit yang ramah lingkungan untuk melindungi tanaman.

- Monitor kesehatan tanaman secara rutin dan lakukan tindakan pencegahan atau pengobatan jika diperlukan.

**6. Pemantauan dan Evaluasi**

- Lakukan pemantauan rutin terhadap tingkat kontaminasi di tanah dan tanaman.
- Evaluasi efektivitas fitoremediasi secara berkala untuk menentukan apakah metode tersebut berhasil atau memerlukan penyesuaian.

**7. Pengelolaan Biomassa**

- Tentukan cara pengelolaan dan pembuangan biomassa tanaman yang telah menyerap kontaminan. Biomassa tersebut dapat menjadi sumber kontaminasi sekunder jika tidak dikelola dengan benar.
- Pertimbangkan metode pemanenan dan pengolahan yang aman dan berkelanjutan.

**8. Konsiderasi Sosial dan Ekonomi**

- Libatkan komunitas lokal dalam proyek fitoremediasi untuk meningkatkan dukungan dan partisipasi.
- Evaluasi biaya dan manfaat ekonomi dari proyek fitoremediasi, termasuk potensi penggunaan kembali lahan yang telah diremediasi.

**9. Kepatuhan Regulasi**

- Pastikan semua aktivitas fitoremediasi mematuhi regulasi dan standar lingkungan yang berlaku.
- Dokumentasikan semua langkah dan hasil untuk memenuhi persyaratan pelaporan dan audit.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut, fitoremediasi dapat menjadi metode yang efektif dan berkelanjutan untuk membersihkan lingkungan dari kontaminasi.

**V. TANAMAN YANG DAPAT DIGUNAKAN UNTUK FITOREMEDIASI**

Beberapa tanaman memiliki potensi untuk mengakumulasi cemaran, seperti disajikan pada tabel berikut:

Jenis kontaminan	Tumbuhan
Zn (zink)	Alpine pennycress ( <i>Thlaspi caerulescens</i> ), <i>T. calaminare</i> , Sambucus, Sijungkot (Rumex)
Cd (kadmium)	Alpine pennycress ( <i>Thlaspi caerulescens</i> ), Sambucus, Sijungkot (Rumex), bunga monyet kuning ( <i>Mimulus guttatus</i> ), <i>Lolium miscanthus</i>
Pb (plumbum)	<i>Lolium miscanthus</i> , <i>Thlaspi rotundifolium</i>
Co (kobalt)	<i>Agrostis gigantea</i> , <i>Haumaniastrum robertii</i> , <i>Mimulus guttatus</i>
Cu (kuprum)	<i>Aeolanthus biformifolius</i> , <i>Lolium miscanthus</i>
Mn (mangan)	<i>Alyxia rubricaulis</i>
Ni (nikel)	<i>Alyssum bertolonii</i> , <i>A. lesbiacum</i> , <i>Berkheya coddii</i> , <i>Hybanthus floribundus</i> , <i>Thlaspi goesingense</i> , <i>T.</i>

Cs (sesium)	<i>montanum, Senesio coronatus, Lolium miscanthus, Phyllanthus serpentinus</i>
As (arsenik)	Bayam akar merah ( <i>Amaranthus retroflexus</i> )
Se (selenium)	<i>Reynoutria sachalinensis, Chlamidomonas sp.</i>
Fe (ferum)	<i>Astragalus racemosus</i>
Hg (merkuri)	<i>Poaceae</i>
Salinitas	<i>Arabidopsis thaliana</i>
Minyak bumi	<i>Attriplex spp., Halosarcia spp., Enneapogon spp. Tempulut (Euphorbia), Cetraria, Bayam akar merah (Amaranthus retroflexus)</i>

Tabel 1. Jenis tumbuhan berpotensi sebagai hiperakumulator (Hidayati, 2005)

Ada beberapa tanaman air yang dapat digunakan sebagai tanaman fitoremediasi, yaitu: tanaman obor (*Typha latifolia*), lidi air (*Typha angustifolia*), rumput kenari (*Phalaris arundinacea*), rumput buluh (*Phragmites australis*) dan beberapa jenis spesies ekor kucing (*Bulrush*). Tanaman air tersebut memiliki kelebihan, antara lain: murah, mudah ditanam dan dipelihara, tahan terhadap perubahan cuaca dan dapat ditanam pada berbagai kondisi lingkungan. Tanaman air lain sebagai akumulator dalam menyerap logam berat, yaitu: enceng gondok (*Eichhornia crassipes*), pegagan air (*Hydrocotyle umbellata* L.), dan *Salvonnella mullestam* (Irhamni et al. 2017).

Selain itu terdapat beberapa tanaman yang digunakan untuk fitoremediasi, seperti tanaman obor (*Typha latifolia*) mampu menyerap logam Cr, Hg; enceng gondok (*Eichornia crassipes*) mampu menyerap logam Cr, Hg; kiambang (*Salvinia molesta*), ganggang hydrilla (*Hydrilla verticillata*), dan kangkung air (*Ipomea aquatica*) mampu menyerap logam Hg; bunga matahari mampu menyerap logam Sn, Sr, As; jarak pagar mampu menyerap logam Pb, Ni, As, Cr, dan Zn; lidah mertua (*Sansevieria striifasciata*), rumput akar wangi (*Vetiveria zizanoides* L.), dan mahoni mampu menyerap logam Pb; serta tanaman apu apu (*Pistia stratiotes*) mampu menyerap logam Cr.

## VI. MEKANISME FITOREMEDIASI

Proses remediasi pada lingkungan yang tercemar dapat terjadi secara alami dalam tanaman. Berikut beberapa mekanisme fitoremediasi yang terjadi, yaitu: fitoakumulasi, fitohidrolik, fitodegradasi, rhizodegradasi, fitostabilisasi, fitovolatilisasi, dan rhizofiltrasi. Untuk menanggulangi dari pencemar logam berat dapat dilakukan fitoekstraksi, rhizofiltrasi, dan fitostabilisasi. Sedangkan untuk pencemar organik dilakukan rhizodegradasi, fitodegradasi, fitovolatilisasi.

### 1. Fitoakumulasi

Fitoakumulasi (Gambar 1) adalah mekanisme fitoremediasi yang juga merujuk seperti fitoekstraksi, yang dapat menyerap polutan dari area yang terkontaminasi. Akumulasi kontaminan akan terjadi pada akar, daun, dan

batang. Tanaman fitoremediasi yang sudah cukup menyerap kontaminan dapat dicabut, selanjutnya dapat dibakar dengan menggunakan insinerator. Abu hasil pembakaran dipisahkan kedalam golongan limbah B3. Proses fitoakumulasi sangat baik dilakukan untuk penanganan media yang tercemar oleh limbah unsur Mn, Hg, Cu, Cr, Cd, Ni, Pb, dan Zn.

### 2. Fitohidrolik

Seperti pada fitoakumulasi, pada mekanisme ini, kontaminan tidak terdegradasi. Pengendalian fitohidrolik (Gambar 2) menangani polusi dengan hidrologi, mempengaruhi siklus air tanah. Tanaman bekerja sebagai pipa alami, dengan mengambil air dari dalam air tanah untuk digunakan atau dikembalikan ke lingkungan melalui transpirasi, kemudian diikuti dengan kondensasi dan hujan.

### 3. Fitodegradasi

Fitodegradasi (Gambar 3) merupakan mekanisme fitoremediasi yang juga dikenal dengan fitotransformation sebagaimana tidak hanya mengambil kontaminan tetapi juga memodifikasinya. Biasanya hal ini dilakukan untuk meremediasi kontaminan seperti *polycyclic aromatic hydrocarbons* and *polychlorinated biphenyls*, mentransformasi kontaminan dengan reaksi menjadi metabolit yang sederhana. Enzim yang bekerja dalam proses ini antara lain: *nitrodictase, laccase, dehalogenase*, dan *nitrilase*. Proses degradasi terjadi pada semua bagian tumbuhan, seperti akar, batang, dan daun.

### 4. Rhizodegradasi

Mekanisme remediasi ini hampir sama dengan fitodegradasi. Proses rhizodegradasi tidak hanya melibatkan tanaman saja tetapi juga mikroba. Sebagian besar kontaminan organik dapat didegradasi melalui proses ini yang melibatkan mikroorganisme (umumnya PGPR) yang berasosiasi dengan akar tanaman. PGPR (Plant Growth Promoting Rhizobacteria) merupakan sekelompok bakteri yang bersimbiosis atau hidup bebas di sekitar akar tanaman, memiliki peran penting dalam mendukung pertumbuhan tanaman. Mikroorganisme ini sangat penting untuk mengoptimalkan proses degradasi, tanaman dapat menstimulasi pertumbuhannya dengan melepaskan metabolit. PGPR memiliki kemampuan untuk mempengaruhi mobilitas dan ketersediaan logam berat bagi tanaman melalui pelepasan agen khelasi, pengasaman, pelarutan fosfat, dan perubahan redoks (Yan-de et al. 2007; Gadd, 2004, 2005, 2010). Bakteri juga memiliki mekanisme toleransi logam seperti eksklusi, biosorpsi, penghapusan aktif, presipitasi atau bioakumulasi baik di luar maupun intraseluler (Rajkumar et al., 2009). Proses degradasi melalui rhizodegradasi (Gambar 4) lebih lambat dibandingkan fitodegradasi

karena dipengaruhi kinerja mikroba yang bersimbiosis. Simbiosis yang terjadi bersifat mutualisme, dimana tanaman mengeluarkan zat seperti gula, alkohol, atau asam yang berfungsi sebagai karbon organik yang diperlukan untuk sumber energi mikroba.

**5. Fitostabilisasi**

Mekanisme fitostabilisasi (Gambar 5) sangat berguna untuk mengurangi resiko pada area bekas pertambangan. Tanaman fitoremediasi mampu menangani tanah yang terkontaminasi menjadi tanah yang bisa ditanami oleh tanaman reklamasi. Kontaminan seperti logam berat diserap oleh tanaman melalui akar. Polutan yang terkandung dalam akar dan jaringan tanaman di cegah agar tidak bergerak lebih lanjut ke dalam lingkungan sehingga pencemaran tanah dan air dapat di cegah.

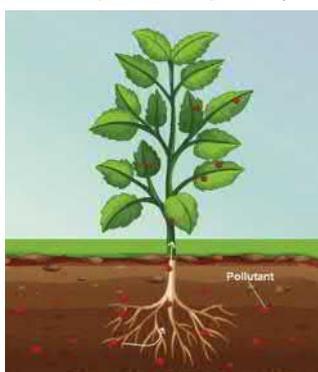
**6. Fitovolatilisasi**

Fitovolatilisasi (Gambar 6) merupakan mekanisme

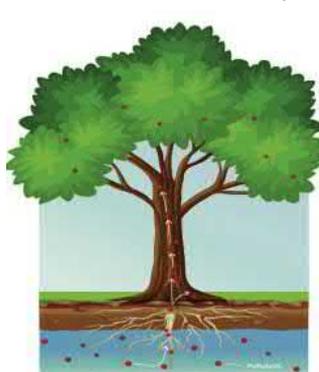
fitoremediasi yang diterapkan untuk mengembalikan lingkungan yang tercemar yang memungkinkan terjadinya polusi yang kedua. Proses fitovolatilisasi terjadi pada bagian daun melalui kegiatan penguapan/transpirasi. Zat kontaminan akan diserap oleh tanaman fitoremediasi untuk dirombak menjadi zat lain yang tidak berbahaya. Hasil zat yang dirombak akan menguap ke atmosfer melalui transpirasi tanaman.

**7. Rhizofiltrasi**

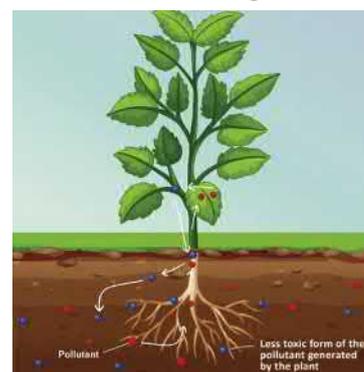
Rhizofiltrasi (Gambar 7) memiliki mekanisme fitoremediasi yang sama dengan fitoakumulasi, perbedaan utamanya pada tipe lingkungan yang tercemar yang diremediasi, seperti yang terletak di badan perairan. Melalui rhizofiltrasi, tanaman fitoremediasi ditanam diatas permukaan badan air yang tercemar. Selanjutnya, tanaman fitoremediasi dapat diambil setelah cukup menyerap kontaminan untuk dibakar dengan insenerator.



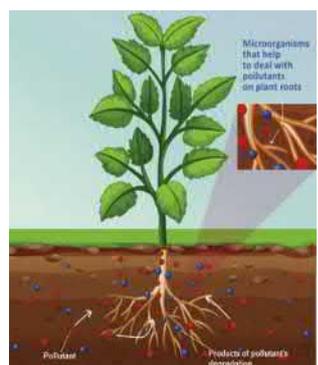
Gambar 1. Fitoakumulasi



Gambar 2. Fitohidraulik



Gambar 3. Fitodegradasi



Gambar 4. Rhizodegradasi



Gambar 5. Fitostabilisasi



Gambar 6. Fitovolatilisasi



Gambar 7. Rhizofiltrasi

Sumber: Bhat *et.al.* 2021

## VI. PENUTUP

### 1. Kelebihan Fitoremediasi

Teknologi fitoremediasi dapat digunakan bersamaan dengan teknologi remediasi yang lain. Adapun kelebihan tanaman fitoremediasi antara lain:

- Area remediasi lebih luas dan jumlah kontaminan lebih banyak.
- Bahan yang digunakan masih alami sehingga ramah lingkungan atau tidak mengakibatkan efek buruk bagi lingkungan.
- Tanaman yang digunakan dapat memberikan nilai estetika dan tidak mempengaruhi ekosistem yang lain.
- Biaya yang lebih murah.
- Metode yang efektif, efisien, dan mudah diterapkan.
- Metode fitoremediasi dapat digabungkan dengan metode lain sehingga lebih optimal.
- Dapat mengendalikan erosi tanah.
- Kegiatan fitoremediasi dapat dikerjakan in-situ maupun eks-situ.

### 2. Kekurangan Fitoremediasi

Penggunaan tanaman fitoremediasi mampu untuk memperbaiki tanah yang tercemar logam berat. Akan tetapi, masih ada kekurangan dari fitoremediasi ini, antara lain:

- Proses pembersihan polutan disekitar tanaman memakan waktu lebih lama.
- Jika konsentrasi polutan sangat tinggi, kemungkinan masih ada polutan yang tersisa.
- Dapat menimbulkan akumulasi logam berat pada jaringan tanaman.
- Kondisi iklim dapat memberikan pengaruh.
- Keseimbangan pada ekosistem rantai makanan dapat terganggu.
- Memerlukan pemeliharaan tanaman.
- Pertumbuhan tanaman dapat menjadi lambat dan biomassa yang dihasilkan rendah sehingga fitoremediasi menjadi kurang efisien.
- Keterbatasan ketersediaan hayati (bioavailability) ion logam di tanah mempengaruhi mobilisasi fraksi logam.

### 3. Kekurangan Fitoremediasi

Fitoremediasi sebaiknya menggunakan tanaman-tanaman non pangan agar aman seperti tanaman-tanaman sebagai berikut:

- Tanaman hias *Caladium bicolor* mampu menurunkan arsen (As) dalam tanah sebesar 19,4% setelah 9 minggu tanam (Purbalisa dkk, 2018). Tanaman hanjuang (*Cordyline fruticose*), sambaing darah (*Excoecaria cochinchinensis*), dan lidah mertua

(*Sansevieria trifasciata*) mampu menyerap logam timbal dalam tanah masing-masing sebesar 2,36 mg/kg/hari, 1,70 mg/kg/hari, dan 0,65 mg/kg/hari (Haryanti dkk, 2013). Tanaman-tanaman tersebut termasuk tanaman hias. Tanaman hias merupakan salah satu metode fitoremediasi yang bernilai estetika dan memiliki nilai jual.

- Tanaman akar wangi (*Vetiveria zizanioides*) mampu menurunkan logam kadmium (Cd) dan kromium (Cr) > 70% (Prayudi dkk, 2015) dan merkuri (Hg) 65% (Triastuti, 2018) selama 28 hari tanam. Tanaman akar wangi termasuk tanaman fitoremediasi yang berfungsi sebagai tanaman konservasi tanah untuk mengatasi erosi dan abrasi juga sebagai sumber wewangian.
- Remediasi tanah tercemar logam berat timbal (Pb) dan kadmium (Cd) menggunakan tanaman rami (*Boehmeria nivea*) mampu menurunkan timbal dan kadmium dalam tanah > 70% selama 2 bulan (Balingtan, 2010). Fitoremediasi menggunakan tanaman rami sebagai tanaman non pangan yang banyak digunakan batangnya untuk diambil seratnya oleh industri tali/benang dan tekstil.
- Beberapa jenis tanaman seperti hiring-hiring (*Rhynchosphora corymbosa*), jugul (*Borreria laevis*), karapiting (*Polygonum hydropiper*), purun tikus (*Eleocharis dulcis*), purun kudung (*Leperonia mucrunata*), bundung (*Scirpus sp.*), bundung gamal (*Scleria poaeformis*), rumput (*Cyperus playtlis*), enceng gondok (*Eichornia crassipes*), dan mendong (*Fimbristylis globulosa*) mampu menurunkan timbal dalam tanah > 90% setelah 2 bulan tanam (Purwadinata dkk, 2013). Tanaman-tanaman yang digunakan merupakan tanaman yang sangat tinggi dalam menyerap cemaran (*multiple uptake hyperaccumulator plant*) ataupun tanaman yang memiliki kemampuan mengangkut cemaran bersifat tunggal (*specific uptake hyperaccumulator plant*). Tanaman-tanaman tersebut ada yang digunakan sebagai tanaman obat tradisional, ada pula sebagai bahan anyaman tikar/kerajinan tangan.

### 4. Kelayakan Ekonomi Fitoremediasi

Teknologi fitoremediasi memerlukan biaya yang cukup rendah. Manfaat fitoremediasi dapat terlihat dalam beberapa tahun jika tingkat kontaminasi logam berat ditanah tidak parah. Total biaya dan kelayakan ekonomi fitoremediasi sangat bergantung pada beberapa faktor seperti biaya operasional, modal awal, tingkat kontaminasi, kondisi iklim yang berlaku, faktor lingkungan, dan praktik pengelolaan (Wan *et al.* 2016). Evaluasi biaya dan studi ekonomi terperinci yang masih

kurang menjadi kendala utama dalam penerapan teknologi fitoremediasi. Evaluasi lokasi yang tepat untuk teknologi fitoremediasi diperlukan untuk memaksimalkan keuntungan secara berkelanjutan (Ashraf *et al.* 2019). Biomassa dari tanaman fitoremediasi mengandung campuran lignin, zat organik, selulosa, dan hemiselulosa, dengan pemanfaatan yang tepat akan menghasilkan keuntungan signifikan (Jiang *et al.* 2015). Berikut beberapa contoh tanaman fitoremediasi komersial yang sangat bernilai (Riaz *et al.* 2022) :

Tabel 2. Daftar Tanaman Fitoremediasi komersial yang bernilai

No	Tanaman	Kegunaan Ekonomi	Remediasi Logam Berat
1.	<i>Lavandula vera L.</i>	Minyak esensial	Pb, Cd, Zn
2.	<i>Jasminum sambac</i>	Tanaman Hias	Cr
3.	<i>Vetiveria zizanioides</i>	Minyak esensial	Pb, Cu, Zn, Fly ash
4.	<i>Chrysanthemum indicum</i>	Tanaman Hias	Cd
5.	<i>Jasminum grandiflorum</i>	Tanaman Hias	Cr
6.	<i>Salix spp.</i>	Kayu	Cd, Zn
7.	<i>Lavandula angustifolia Mill.</i>	Minyak esensial	Cd, Pb, Cu, Mn, Zn, Fe
8.	<i>Calendula officinalis</i>	Tanaman Hias	Cd
9.	<i>Ocimum basilicum L.</i>	Minyak esensial	Cd, Pb, Cu, Mn, Zn, Fe
10.	<i>Mentha arvensis</i>	Minyak esensial	Cd, Pb, Cu, Mn, Zn
11.	<i>Anethum graveolens L.</i>	Minyak esensial	Cd, Cu, Pb
12.	<i>Mentha piperita L</i>	Minyak esensial	Cd, Pb, Cu, Mn, Zn
13.	<i>Jatropha curcas</i>	Biodisel	As, Cr, Zn, Cd
14.	<i>Populus spp.</i>	Bubur kayu	Bo, Fly ash
15.	<i>Gladiolus grandiflorus</i>	Tanaman Hias	Cd
16.	<i>Tagetes erecta</i>	Tanaman Hias	Cd
17.	<i>Tectona grandis</i>	Kayu	Fe
18.	<i>Jasminum auriculatum</i>	Tanaman Hias	Cr

Remediasi dengan menggunakan tanaman atau disebut sebagai fitoremediasi merupakan teknologi hijau untuk mengatasi permasalahan lingkungan yang terkontaminasi. Pemilihan pemulihan lahan terkontaminasi dengan fitoremediasi sebagai upaya perlindungan lingkungan yang ramah dan inovatif. Keberhasilan fitoremediasi memerlukan proses identifikasi permasalahan lingkungan terkontaminasi, pemilihan jenis tanaman fitoremediasi yang tepat, dan efektivitas manajemen lahan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, S., Ali, Q., Zahir, Z.A., Ashraf, S., Asghar, H.N., 2019. *Phytoremediation: environmentally sustainable way for reclamation of heavy metal polluted soils. Ecotoxicol. Environ. Saf.* 174, 714–727.
- Balai Penelitian Lingkungan Pertanian. 2010. Penelitian Teknologi Bioremediasi Lahan Teremar Pb dan Cd Melalui Pemanfaatan Azzotobacter dan Fungi Mikoriza Arbuskula. Laporan Akhir.
- Bhat, R. A., Tonelli, F. M. P., Dar, G. H., & Hakeem, K. (Eds.). 2021. *Phytoremediation: Biotechnological Strategies for Promoting Invigorating Environs.* Academic Press.
- Gadd, G.M., 2004. *Microbial influence on metal mobility and application for bioremediation.* Geoderma 122, 109–119.
- Gadd, G.M., 2005. *Microorganisms in toxic metal polluted soils. In: Buscot, F., Varma, A. (Eds.), Microorganisms in Soils: Roles in Genesis and Functions.* Springer-Verlag, Berlin, pp. 325–356.
- Gadd, G.M., 2010. *Metals: minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation.* Microbiology 156, 609–643.
- Haryanti, D., Budianta, D., dan Salni, S. 2013. Potensi Beberapa Jenis Tanaman Hias Sebagai Fitoremediasi Logam Timbal (Pb) Dalam Tanah. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*, 16(2), 72.
- Hidayati, N. 2005. Ulasan Fitoremediasi dan Potensi Tumbuhan Hiperakumulator. *Hayati*: 12 (1)
- Irhamni, I., Pandia, S., Purba, E., & Hasan, W. 2017. Kajian akumulator beberapa tumbuhan air dalam menyerap logam berat secara fitoremediasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 1(2).
- Jiang, Y., Lei, M., Duan, L., Longhurst, P., 2015. *Integrating phytoremediation with biomass valorisation and critical element recovery: a UK contaminated land perspective.* Biomass Bioenergy, 83, 328–339.
- Purbalisa, W., dan Oktasari, C.O. 2018. *Remediation of Arsenic Polluted Soil Using Ornamental Plants Caladium bicolor.* Proceeding Of International Workshop and Seminar Innovation Of Environmental-Friendly Agricultural Technology Supporting Sustainable Food Self-Sufficiency. P: 124-128.
- Purwadinata, H. dan Sutrisno, N. 2013. Rehabilitasi Lahan Pertanian Tercemar Limbah Industri (Hg dan Pb) Dalam Mendukung Pembangunan Pertanian Ramah Lingkungan. *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Sains, Dan Teknologi Volume 4*, Hal: D. 72-D.81.

- Prayudi, T. A., Zubair, A., Maricar, I. 2015. Fitoremediasi Tanah Tercegar Logam Cr Dengan Tumbuhan Akar Wangi Pada Media Tanah Berkompos. Unhas Press.
- Rajkumar, M., Ae, N., Freitas, H. 2009. *Endophytic bacteria and their potential to enhance heavy metal phytoextraction*. Chemosphere 77, 153–160.
- Riaz, U., Athar, T., Mustafa, U., & Iqbal, R. 2022. *Economic feasibility of phytoremediation*. In Phytoremediation (pp. 481-502). Academic Press.
- Triastuti, Y. 2018. Fitoremediasi Tanah Tercegar Merkuri Menggunakan Tanaman Akar Wangi Pada Lahan Eks TPA Keputih Surabaya. ITS Press.
- Wan, X., Lei, M., Chen, T., 2016. *Cost–benefit calculation of phytoremediation technology for heavy-metal-contaminated soil*. Sci. Total Environ. 563, 796–802.
- Yan-de, J., Zhen-li, H., Xiao-e, Y., 2007. *Role of soil rhizobacteria in phytoremediation of heavy metal contaminated soils*. J. Zhejiang Univ. Sci. B. 8, 192–207.

# Potensi Terak Baja Sebagai Pembenh Tanah dan Penyedia Hara

Dinihari Indah Kusumawati, Vina Agustin, Adha Fatmah Siregar

Balai Perakitan dan Pengujian Tanah dan Pupuk

## RINGKASAN

Sektor pertanian memiliki peranan yang penting untuk mempertahankan dan meningkatkan perekonomian serta ketahanan pangan. Guna mewujudkan ketahanan pangan nasional, maka Presiden Republik Indonesia, Prabowo Subianto, maka salah satu program nasional dalam Asta Cita adalah mendorong kemandirian bangsa melalui swasembada pangan. Upaya pencapaian target swasembada pangan tidak terlepas dari tersedianya faktor-faktor produksi diantaranya pupuk dan pembenh tanah. Pembenh tanah memiliki fungsi dalam memperbaiki sifat fisika, kimia, dan biologi tanah serta sebagai sumber hara tanaman. Salah satu sumber pembenh tanah yang dapat dimanfaatkan adalah terak baja (*steel slag*). Terak baja merupakan hasil samping pada proses pengolahan biji besi menjadi baja. Kandungan utama terak baja terdiri dari hara Ca, Mg dan Si yang merupakan hara makro sekunder dan benefisial yang bermanfaat bagi tanaman. Berbagai hasil pengujian telah dilakukan terkait pemanfaatan terak baja sebagai pembenh tanah dan sumber hara tanaman pangan. Beberapa negara diantaranya Jepang, Korea Selatan, India, Eropa dan Indonesia telah melakukan penelitian pemanfaatan terak baja di bidang pertanian. Secara umum hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa aplikasi terak baja meningkatkan kualitas tanah dan memberikan respon positif terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan terak baja di Indonesia, maka diperlukan standar yang mengatur mutu terak baja yang akan digunakan di bidang pertanian.

## I. LATAR BELAKANG

**S**ektor pertanian menjadi prioritas dan fokus utama pemerintah untuk menjaga ketahanan dan mencapai swasembada pangan. Hal ini selaras dengan program “Asta Cita” Presiden Republik Indonesia Prabowo Subianto, dimana salah satu isi dari Asta Cita tersebut adalah memantapkan sistem pertahanan keamanan negara dan mendorong kemandirian bangsa melalui swasembada pangan, energi, air, ekonomi kreatif, ekonomi hijau, dan ekonomi biru. Berbagai upaya dilakukan untuk mempertahankan dan meningkatkan perekonomian serta ketahanan pangan nasional salah satunya melalui peningkatan produksi pertanian dan produktivitas lahan pertanian. Rendahnya kesuburan tanah dan sistem pengolahan tanah yang tidak tepat menyebabkan menurunnya kualitas tanah yang dapat diatasi dengan pemberian pupuk dan pembenh tanah (Dariah *et al.* 2015). Pembenh tanah berfungsi untuk memperbaiki sifat kimia,

fisika dan biologi tanah. Sedangkan pemupukan dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan hara makro, mikro dan benefisial. Salah satu sumber pembenh tanah yang dapat digunakan adalah terak baja (*steel slag*). Terak baja (*steel slag*) merupakan hasil samping pengolahan biji besi menjadi baja yang dalam proses pengolahannya umumnya terdiri dari bahan mentah berupa biji besi, batubara, kapur ( $\text{CaCO}_3$ ), dolomit ( $\text{Ca-Mg}(\text{CO}_3)_2$ ) dan oksigen di tanur tinggi (blast furnace) (Devnita *et al.* 2021; O'Connor *et al.* 2021). Terak baja mengandung komponen yang berasal dari kandungan bahan mentah yang digunakan. Kandungan terak baja terdiri dari CaO;  $\text{SiO}_2$ ; MgO;  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; MnO;  $\text{P}_2\text{O}_5$ ; FeO; Fe total; S dan lainnya dengan persentase berbeda-beda di tiap negara (Guo *et al.* 2018). Merujuk dari kandungan hara tersebut, terak baja berpotensi untuk dapat dimanfaatkan sebagai pembenh tanah dan sumber hara tanah di bidang pertanian.

Produksi terak baja di seluruh dunia saat ini mencapai lebih dari 400 juta ton (Mihaela *et al.* 2020), sedangkan di Indonesia produksi mencapai lebih dari 1 juta ton tahun<sup>-1</sup>. Berdasarkan potensi terak baja baik dari sisi kualitas dan kuantitas serta didukung dengan terbitnya Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup (lampiran XIV), dinyatakan bahwa terak baja dari hasil pengolahan biji besi atau baja dikategorikan sebagai limbah non B3. Berdasarkan potensi kualitas dan kuantitas terak baja di Indonesia yang dapat dimanfaatkan sebagai pembenh tanah dan sumber hara tanah, maka diperlukan suatu acuan standar mutu terkait pemanfaatan terak baja untuk pertanian salah satunya dalam bentuk SNI. Dengan adanya standar mutu tersebut, potensi terak baja dapat dimanfaatkan secara optimal untuk meningkatkan kesuburan tanah dan produksi tanaman, dengan tetap memperhatikan dan menjaga kelestarian lingkungan serta kesehatan manusia dan hewan.

## II. KARAKTERISTIK TERAK BAJA DAN PERANANNYA BAGI TANAMAN

Komposisi terak baja dipengaruhi oleh beberapa parameter, antara lain: komposisi biji besi, rasio biji besi yang terdapat di sinter, suhu, lingkungan gas, laju pendinginan, kualitas fluks, dan pengotor yang terdapat pada besi tua dan besi cair. Parameter tersebut berpengaruh terhadap kandungan hara, kandungan elemen beracun, luas permukaan, porositas, dan pH terak baja (*slag*) (O'Connor *et al.* 2021). Terak baja memiliki kandungan unsur utama antara lain Ca, Mg dan Si yang berpotensi sebagai pembenh tanah dan sumber hara tanah. penggunaan bibit yang berkualitas

sangat penting untuk mengatasi kondisi lingkungan yang kurang optimal (Nurhayati *et al.* 2020).

Kalsium (Ca) merupakan hara penting bagi tanaman yang merupakan komponen utama dinding sel sehingga berperan dalam penebalan dinding dan membran sel, perbaikan jaringan tanaman, pembawa pesan intraseluler di sitosol serta berperan dalam berbagai proses biologi tanaman seperti pemberi sinyal seluler, metabolisme, pertumbuhan sel dan perkembangan sel (Jing *et al.* 2024; Alrashidi *et al.* 2022; White dan Broadley, 2003). Selain Ca dan Mg, silika (Si) merupakan hara yang terdapat di terak baja dalam jumlah yang tidak kalah besar. Silika merupakan hara benefisial bagi tanaman yang memiliki manfaat terhadap pertumbuhan dan produktivitas berbagai jenis tanaman pada kondisi lingkungan yang beragam sehingga tanaman toleran, seperti kondisi stress biotik dan abiotik (banjir, lahan dengan kemasaman tinggi, dingin, ketidakseimbangan hara, paparan radiasi, keracunan metal, hama dan pathogen tanaman) (Wang *et al.* 2021).

Kandungan Ca dan Mg dapat bermanfaat sebagai pembenah tanah khususnya pada tanah masam dan sebagai sumber hara. Unsur hara Ca memiliki fungsi sebagai pengatur tekanan osmotik dari sel dan metabolisme tanaman. Menurut Hanafiah (2005), defisiensi unsur hara Ca akan menyebabkan

terhentinya pertumbuhan tanaman akibat terganggunya pertumbuhan pucuk tanaman dan ujung-ujung akar (titik-titik tumbuh), serta jaringan penyimpanan. Hal ini mengakibatkan rusaknya permeabilitas dan struktur membran sel-sel tanaman. Dobermann dan Fairhurst (2000), menemukan bahwa untuk pertumbuhan optimal maka kejenuhan Ca dari KTK harus >20% dan rasio Ca:Mg dapat ditukar pada tanah harus >3 - 4:1 serta 1:1 dalam larutan tanah. Unsur hara Mg berfungsi mengaktifkan beberapa enzim komponen klorofil yang berperan dalam asimilasi CO<sub>2</sub> dan sintesis protein, pengaturan pH seluler dan keseimbangan anion-kation (Widowati *et al.*, 2023). Sedangkan unsur hara Si pada terak baja berfungsi dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik dan biotik. Ketahanan tanaman padi terhadap serangan penyakit *blast* dan rebah batang (*lodging*) dapat ditingkatkan dengan penambahan pupuk yang mengandung hara silika. Selanjutnya, menurut Massey dan Hartley (2009), unsur hara silika juga dapat membuat dinding sel menjadi lebih tebal sehingga penetrasi penyakit dan hama akan sulit menembus sel tanaman.

Beberapa hasil pengujian dan penelitian dari beberapa negara terkait pemanfaatan terak baja dibidang pertanian pada berbagai komoditas tanaman pangan disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Penelitian Pemanfaatan Terak Baja di Bidang Pertanian dari Beberapa Negara

No.	Negara	Komoditas	Hasil penelitian	Referensi
1.	Jepang	- Sawi ( <i>Brassica rapa</i> var. <i>periviridis</i> ) - Bayam merah ( <i>Spinacia oleracea</i> L.)	Terak baja pada konsentrasi rendah (0,2% - 1%) berpengaruh positif terhadap pertumbuhan, serapan hara, dan biomasa bakteri pada tanaman <i>Brassica rapa</i> var. <i>periviridis</i> dan <i>Spinacia oleracea</i> L.. Penambahan terak baja dalam jumlah tinggi menyebabkan pH tanah semakin meningkat. Akan tetapi pada konsentrasi terak baja >1%, terdapat pengaruh negatif terak baja terhadap biomasa bakteri dan terjadi penurunan serapan hara.	Islam <i>et al.</i> (2022)
2.	India	Jelai ( <i>Barley</i> )	Penggunaan terak baja meningkatkan hasil biji tanaman jelai ( <i>Barley</i> ) yang bersimbiosis dengan mikoriza dan non-simbiosis masing-masing sebesar 32% dan 21% serta konsentrasi logam berat pada biji jelai ( <i>Barley</i> ) yang bersimbiosis dan non symbiosis dengan mikoriza berada pada batas aman sesuai WHO. Akan tetapi penambahan terak baja menurunkan kolonisasi mikoriza pada akar tanaman jelai sehingga menyebabkan kehilangan hara pada air lindi.	Goswami <i>et al.</i> (2024)
3.	Korea Selatan	Padi (Japonica dan Indica)	Sebagai pembenah tanah, terak LD signifikan meningkatkan pH tanah, fotosintesis, ketersediaan hara, dan produksi tanaman padi dalam kondisi tergenang. Selain itu, terak LD meningkatkan serapan hara N, P, dan K jerami padi serta meningkatkan biomasa mikroba, aktivitas enzim dan memperkaya bakteri yang mendukung pertumbuhan tanaman.	Das <i>et al.</i> (2020)
4.	China	Padi sawah	Aplikasi terak baja diatas atau setara dengan 1.600 mg SiO <sub>2</sub> kg <sup>-1</sup> tanah meningkatkan pH tanah, berat kering jerami, berat kering gabah, konsentrasi Si tersedia, dan konsentrasi Si pada bagian atas padi dibanding kontrol. Selain itu, terak baja menghambat perpindahan Cd ke gabah dari tanah.	Ning <i>et al.</i> 2016
5.	Korea Selatan	Padi sawah	Terak baja sebagai sumber pupuk silika pada tanaman padi sawah meningkatkan kualitas padi, rerata produksi bulir padi sebesar 14% dibanding kontrol secara signifikan, sifat fisika tanah tanpa mengakibatkan akumulasi bahan berbahaya dan menekan emisi gas metan (CH <sub>4</sub> ).	Lim <i>et al.</i> (2022)

6.	Maroko	<i>Cabai merah (Capsicum annuum L.)</i>	Aplikasi terak baja 20 g kg <sup>-1</sup> signifikan meningkatkan panjang tanaman (40.16 cm), akar (22.16 cm), jumlah daun (14 tiap tanaman), <i>internodes</i> (15 tiap tanaman), bobot bunga bobot kering tanaman. Terak baja pada konsentrasi 20 g kg <sup>-1</sup> menginduksi peningkatan pigmen fotosintesis (35.32 mg g <sup>-1</sup> FW total klorofil dan 7.26 mg g <sup>-1</sup> FW karotenoid), hara makro (N, P, K dan Ca) serta peningkatan kandungan protein dibanding kontrol.	Ouala <i>et al.</i> (2024)
7.	UEA	<i>Tomat ceri di lahan masam, Salicornia di lahan basa dan salin, dan arugula ditanam secara hidroponik.</i>	STERak baja pada konsentrasi rendah meningkatkan panjang akar dan berat kering akar. Konsentrasi terak baja dari 0% - 1% (w/w) meningkatkan jumlah akar lateral dan panjang akar masing-masing 88% dan 44% pada tanaman tomat ceri. Pengaruh ini juga tampak pada tanaman arugula yang ditanam secara hidroponik. Penambahan terak baja pada tanaman <i>Salicornia</i> meningkatkan berat tanaman hingga tiga kali lipat pada tahap pembibitan.	Qassem <i>et al.</i> (2025)
8.	Indonesia	<i>Tanaman padi yang digunakan varietas IR 64</i>	Terak baja dapat meningkatkan sifat kimia tanah gambut setelah diinkubasi selama 120 hari. Sifat kimia yang meningkat setelah aplikasi terak baja yaitu pH, P-Bray 1, Si-tersedia, Ca-tersedia, Mg-tersedia dan Mn-tersedia. Aplikasi terak baja secara signifikan meningkatkan tinggi tanaman padi dan berpengaruh nyata meningkatkan jumlah anakan, jumlah malai, bobot kering jerami, bobot gabah kering panen (BGKP) dan bobot gabah kering giling (BGKG). Berdasarkan hasil percobaan padi di pot dalam rumah kaca menunjukkan perlakuan terak baja terbaik adalah terak baja 7,50% dengan BGKG 80,0 g/pot. Hasil analisis terhadap logam berat dalam beras menunjukkan kandungan logam berat Pb tidak terdeteksi sedangkan kandungan logam berat Cd terdeteksi. Kadar Cd dalam beras tersebut masih berada di bawah batas maksimum cemaran logam berat dalam pangan menurut SNI 6128:2020.	Purnamasari <i>et al.</i> (2024)

Kandungan CaO pada terak baja di berbagai negara antara 27 – 51 %, MgO 1 – 10 %, dan SiO<sub>2</sub> 11 – 34 %. Data kandungan unsur utama terak baja dari berbagai negara tersaji pada Tabel 2.

Tabel 2. Karakteristik terak baja dari berbagai negara di dunia

Kandungan (%)	Brazil	Perancis	Swiss	Jepang	China	Turki	Romania	Indonesia
CaO	45,2	47,71	45	45,8	42,92	38,62	40,9	50,4
SiO <sub>2</sub>	12,2	13,25	11,1	11	11,51	19,29	34,7	32
MgO	5,5	6,37	9,6	6,5	4,36	8,05	7,7	1,37

Sumber : Guo *et al.* (2018)

Hasil penelitian terkait *steel slag* terbaru yang ada di Indonesia disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik terak baja di Indonesia

Karakteristik	Satuan	Hasil Uji
CaO	%	19,58
MgO	%	8,73
SiO <sub>2</sub>	%	12,50

Sumber : Purnamasari *et al.* (2024)

### III. POTENSI TERAK BAJA DI BIDANG PERTANIAN

Peningkatan produksi baja di Indonesia mengakibatkan jumlah terak baja sebagai hasil samping proses peleburan biji besi menjadi baja meningkat drastis. Beberapa jenis limbah industri termasuk terak baja dikategorikan sebagai limbah

non B3 berdasarkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021. Pemanfaatan limbah non B3 yang terdiri dari terak baja (N101), *mill scale* (N103), *PS Ball* (N105) dan *EAF dust* (N104) di Indonesia digunakan sebagai bahan baku (71%), diolah (15%), ditimbun (11%), dan bahan bakar (3%) dengan total limbah non B3 sebanyak 14,472 juta ton tahun 2021 dan 15,596 juta ton tahun 2022 (Direktorat Pengelolaan Limbah B3 dan Non B3 Kementerian LHK, 2024). Limbah non B3 tersebut berdasarkan data tahun 2022, dimanfaatkan sebagai bahan baku ingot tembaga (708 ribu ton), bahan baku kertas kualitas rendah (584 ribu ton), dan bahan baku semen (908 ribu ton).

Produksi terak baja di Indonesia tahun 2010 hanya 800 ribu ton (Gunawan *et al.* 2011), namun di tahun 2024 produksi slag dari PT Krakatau Posco mencapai 1,52 juta ton per tahun terdiri dari 1 juta ton GBFS (*Granulated Blast Furnace Slag*), 20 ribu ton *air cooled slag* dan 500 ribu ton *steel making slag*. Berdasarkan laporan pengelolaan limbah non B3 melalui sistem pelaporan dan evaluasi digital Kementerian LHK, hingga tahun 2024 terdapat 16 perusahaan yang menghasilkan hasil samping industri berupa terak baja dengan kode N101. Jumlah terak baja yang dihasilkan di Indonesia tahun 2024 sebanyak 1.943.542,04 ton dan jumlah yang dikelola sebanyak 1.926.955,36 ton. Jumlah ini lebih sedikit dibandingkan produksi terak baja tahun 2023 yang mencapai 2.970.286,03 ton dan jumlah yang dikelola sebesar 2.902.280,85 ton. Diproyeksikan akan terjadi peningkatan produksi terak baja di masa mendatang akibat kenaikan kebutuhan baja nasional sehingga dibutuhkan lahan dan biaya

konstruksi untuk penampungan terak baja yang besar. Diperkirakan untuk 1 ha lahan hanya mampu menampung terak baja dengan kapasitas 97,3 ribu ton dengan perkiraan biaya konstruksi 12,87 triliun rupiah per ha berdasarkan Divisi Perlindungan Lingkungan, Departemen Sumber Daya Alam Georgia.

Beberapa negara seperti Jepang, Eropa, Korea Selatan, Amerika Serikat, dan China memanfaatkan terak baja untuk produksi semen, konstruksi jalan, pertanian dan lain sebagainya. Di bidang pertanian, Eropa memanfaatkan terak baja sekitar 3% dari total produksi, sedangkan Jepang dan Korea Selatan antara 2 - 4% sebagai pupuk silika (Lim *et al.* 2022; Das *et al.* 2020).

Beberapa potensi terak baja untuk digunakan sebagai pembenah dan sumber hara tanah, antara lain Das *et al.* (2020):

1. Slag mengandung unsur hara seperti Ca, Mg, Si dan P.
2. Pada dosis yang cukup, Si pada slag dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap penyakit dan hama.
3. Slag kaya akan kandungan CaO sehingga dapat menjadi pembenah tanah.
4. Kandungan Fe yang tinggi pada slag dapat digunakan untuk mitigasi emisi gas metan pada budidaya padi.
5. Kandungan CaO dan SiO<sub>2</sub> yang tinggi pada slag dapat digunakan untuk menstabilkan kontaminasi metal di tanah.

#### IV. KESIMPULAN

Melihat adanya potensi terak baja baik dari sisi kualitas seperti kandungan Ca, Mg, dan Si dan kuantitas, terak baja berpotensi untuk dapat dimanfaatkan sebagai pembenah tanah dan penyedia hara bagi tanaman. Pemanfaatan terak baja di bidang pertanian telah banyak dilakukan di beberapa negara diantaranya Jepang, Korea Selatan, dan Eropa. Oleh karena itu untuk lebih mengoptimalkan pemanfaatan terak baja di Indonesia, maka diperlukan standar yang mengatur mutu terak baja yang akan digunakan dibidang pertanian.

#### DAFTAR PUSTAKA

Alrashidi, A.A., Alhathloul, H.A.S., Soliman, M.H., Attia, M.S., Elsayed, S.M., Ali, M.M., Sadek, A.M., dan Fakhr, M.A. 2022. *Role of calcium and magnesium on dramatic physiological and anatomical responses in tomato plants*. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 50(1): 12614.

BPSI Tanah dan Pupuk. 2024. Hasil Analisa GBFS tahun 2024 No. 685/LP BPSI TANAH DAN PUPUK/08/2024

Das, S., Galgo, S. J., Alam, M. A., Lee, J. G., Hwang, H. Y., Lee, C. H., dan Kim, P. J. 2020. *Recycling of ferrous slag in agriculture: Potentials and challenges*. Critical Reviews

in Environmental Science and Technology,1-35. doi:10.1080/10643389.2020.1853458.

Direktorat Pengelolaan Limbah B3 dan Non B3. 2024. Utilization of Non Hazardous Waste Management. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.

Goswami, V., Deepika, S., Sharma, P., dan Kothamasi, D. 2024. *Recycling steel slag as fertiliser proxy in agriculture is good circular economy but disrupts plant microbial symbioses in the soil*. Science of The Total Environment. 954: 176750.

Gunawan, G., Oetojo, P.D., Kusminingrum, N., Rahmawati, T., Leksminingsih, L. 2011. Pemanfaatan Slag Baja untuk Teknologi Jalan yang Ramah Lingkungan. Kementerian Pekerjaan Umum.

Guo, J., Bao, Y. dan Wang, M. 2018. *Steel Slag in China: Treatment, recycling and management*. Waste management: 318-330.

Hanafiah, K.A. 2005. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Divisi Buku Perguruan Tinggi. Jakarta. PT. Raja Grafindo Persada.

Islam, Z., Tran, Q.T., Koizumi, S., Kato, F., Ito, K., Araki, K.S., dan Kubo, M. 2022. *Effect of steel slag on soil fertility and plant growth*. Journal of Agricultural Chemistry and Environment. 11(3): 209-221.

Jing, T., Li, J., He, Y., Shankar, A., Saxena, A., Tiwari, A., Maturi, K.C., Solanki, M.K., Singh, V., Eissa, M.A., Ding, Z., Xie, J. dan Awasthi, M.K. 2024. *Role of calcium nutrition in plant Physiology: Advances in research and insights into acidic soil conditions – A comprehensive review*. Plant Physiology and Biochemistry. 210: 108602.

Massey, F. P., dan Hartley, S. E. 2009. *Physical defences wear you down: progressive and irreversible impacts of silica on insect herbivores*. Journal of Animal Ecology, 78(1), 281–291.

Ning, D., Liang, Y., Liu, Z., Xiao, J. dan Duan, A. 2016. *Impact of steel-slag-based silicate fertilizer on soil acidity and silicon availability and metals-immobilization in a Paddy soil*. Plos ONE. 11(12):e0168163.

Ouala, O., Essadki, Y., Khalisse, H., Chagiri, H., dan Meddich, A. 2024. *Evaluation of slag fertilizer potential in Capsicum annum L. cultivation and production*. JAEID. 118(2): 119-138.

Perpiñán, J., Peña, B., Bailera, M., Eveloy, V., Kannan, P., Raj, A., Lisbona, P., dan Romeo, L.M. 2023. *Integration of carbon capture technologies in blast furnace based steel making: A comprehensive and systematic review*. Fuel. 336. 127074. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127074>.

PT Krakatau Posco. 2024. Hasil Analisa GBFS PT Krakatau Posco tahun 2024.

- Purnamasari, L., Pengaruh Steel Slag, Fly Ash dan Bottom Ash Terhadap Sifat Kimia Tanah Gambut dan Pertumbuhan Padi Sawah.
- Qassem, M.Q., Salim, M.H., Dali, M.A., Dumei, L.F., Vega, L., Kaniyampambil, S.H., Chelaifa, H., Amoodi, N.A., dan Tardy, B.L. 2025. *Slag from steel production as a versatile fertilizer: Evaluation of ladle furnace slag in sandy soils and hydroponics. Environmental Technology & Innovation*. 37: 103954.
- Singh, R. 2016. *Applied Welding Engineering: 2nd Ed.: Processes, Codes and Standards*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-00784-5>
- Wang, M., Wang, R., Mur, L.A.J., Ruan, J., Shen, Q. dan Guo, S. 2021. *Functions of silicon in plant drought stress responses*. Horticulture research. 8: 254.
- Widowati, L.R., dkk. 2023. Sumber Hara Tanaman Berbahan Baku Lokal. Bogor : Penerbit Pertanian Press. 125, 40-41,82-83.
- White, P.J. dan Broadley, M.R. 2003. Calcium in Plants. *Ann. Bot.* 92(4): 487-511.
- Wolf-Zoellner, P., Medved, A.R., Lehner, M., Kieberger, N., dan Rechberger, K. 2021. *In Situ Catalytic Methanation of Real Steel- works Gases*. *Energies*, 14, 8131. <https://doi.org/10.3390/en14238131>
- Zago, S. C., Vernilli, F., dan Cascudo, O. 2023. *The Reuse of Basic Oxygen Furnace Slag as Concrete Aggregate to Achieve Sustainable Development: Characteristics and Limitations*. *Buildings*, 13(5), 1193. <https://doi.org/10.3390/buildings13051193>

# Inpara: Varietas Unggul Padi Sawah untuk Optimalisasi Lahan Rawa

Ani Susilawati<sup>(1)</sup> dan Dedi Nursyamsi<sup>(2)</sup> Lutfi Izhar<sup>(3)</sup>

(1) Balai Perakitan dan Pengujian Pertanian Lahan Rawa

(2) Pusat Penyuluhan Pertanian

(3) Balai Perakitan dan Pengujian Lingkungan Pertanian

## RINGKASAN

Lahan rawa memiliki potensi besar untuk dikembangkan sebagai lumbung pangan di masa depan dalam rangka mewujudkan swasembada pangan nasional. Namun, produktivitas padi di lahan ini sering terhambat oleh tingkat kemasaman tanah yang tinggi serta potensi keracunan besi. Salah satu pendekatan untuk mengatasi masalah ini adalah dengan menggunakan varietas padi yang adaptif terhadap kondisi lahan rawa. Sejak tahun 2008, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian telah merilis berbagai varietas padi rawa yang dikenal dengan nama Inpara (Inbrida Padi Rawa), yang diberi penomoran berturut mulai dari Inpara 1 hingga Inpara 22. Beberapa varietas, seperti Inpara 1, 2, 3, 6, dan 7, merupakan hasil dari program pemuliaan melalui persilangan, sedangkan Inpara 4 dan 5 merupakan hasil introduksi dari IRRI. Varietas-varietas Inpara umumnya menunjukkan performa yang baik di lahan rawa pasang surut, dengan potensi hasil berkisar antara 3 hingga 5 ton per hektar. Khususnya, Inpara 3 dikenal memiliki daya adaptasi yang luas dan dapat tumbuh baik pada berbagai tipe rawa, termasuk lahan pasang surut potensial, tanah sulfat masam, serta lahan bergambut, dengan hasil panen antara 3,0 hingga 4,5 ton per hektar.

## I. PENDAHULUAN

**K**etersediaan pangan yang cukup, mudah diakses oleh seluruh lapisan masyarakat, serta memiliki harga yang terjangkau merupakan salah satu pilar penting dalam menjaga ketahanan nasional. Ketika pasokan pangan terganggu, hal ini berpotensi mengancam stabilitas dan keamanan negara. Dalam upaya mencapai swasembada pangan, Indonesia menetapkan strategi peningkatan kapasitas produksi pangan, khususnya komoditas strategis seperti padi.

Meskipun hasil produksi beras telah menunjukkan peningkatan dalam beberapa tahun terakhir, tantangan ke depan masih cukup kompleks. Pertumbuhan jumlah penduduk, konversi lahan pertanian ke non-pertanian, dampak perubahan iklim, serta kejadian bencana alam menjadi hambatan besar dalam menjaga kestabilan produksi nasional. Untuk mengatasi tantangan tersebut, arah pembangunan pertanian diperluas ke lahan-lahan suboptimal, termasuk lahan rawa.

Lahan rawa di Indonesia memiliki prospek besar dalam mendukung peningkatan produksi pangan nasional.

Berdasarkan data Subagyo (2006), total luas lahan rawa mencapai sekitar 33,4 juta hektar. Hingga tahun 2010, lahan yang telah dibuka untuk pemanfaatan seluas 1,8 juta hektar, terdiri dari 1,453 juta hektar lahan rawa pasang surut dan 0,347 juta hektar lahan rawa lebak (Dirjen Pengairan, 2010). Studi sebelumnya memperkirakan sekitar 9,53 juta hektar dari total luas rawa tersebut memiliki kesesuaian untuk pengembangan pertanian (Manwan *et al.* 1992). Namun, saat ini kontribusi lahan rawa terhadap produksi padi nasional masih tergolong rendah, yakni sekitar 600–700 ribu ton. Padahal, jika dilakukan pengelolaan dan optimalisasi yang tepat, lahan ini berpotensi menghasilkan hingga 8,55 juta ton gabah atau sekitar 14–15% dari total produksi nasional (Balitbangtan, 2010).

Salah satu strategi untuk meningkatkan hasil padi di lahan rawa pasang surut adalah dengan menanam varietas unggul yang adaptif, produktif, dan memiliki umur yang lebih singkat dibandingkan varietas lokal. Hal ini dapat meningkatkan intensitas tanam dari satu kali per tahun (IP=1) menjadi dua kali atau lebih (IP≥2). Varietas Inpara (Inbrida Padi Rawa) telah dikembangkan dan dilepas sebagai varietas unggul yang sesuai dengan kondisi lahan rawa. Inpara memiliki keunggulan berupa potensi hasil tinggi (4–7 ton per hektar), umur genjah (115–135 hari), serta kemampuan adaptasi yang baik terhadap agroekosistem rawa (Suprihatno *et al.* 2010).

## II. INPARA DI LAHAN RAWA

Peningkatan produksi padi di lahan rawa masih menghadapi sejumlah tantangan, baik dari sisi biofisik maupun non-biofisik. Faktor utama yang menjadi kendala antara lain adalah kondisi lahan, seperti ketersediaan air dan tingkat kesuburan tanah, serta aspek sosial ekonomi yang berkaitan dengan kapasitas sumber daya manusia, khususnya petani. Di samping itu, terbatasnya sarana dan prasarana pendukung, serta kebijakan yang belum sepenuhnya mendorong optimalisasi pemanfaatan lahan marginal turut memperlambat peningkatan produktivitas.

Sebenarnya, lahan rawa pasang surut dan lebak berpotensi mendukung pertumbuhan tanaman padi jika dikelola secara optimal. Namun, pada lahan yang baru dibuka, biasanya memiliki karakteristik sangat masam (pH < 4) dan kandungan besi tereduksi (Fe<sup>2+</sup>) yang tinggi, berkisar antara 300–400 ppm. Kondisi ini menyebabkan tingkat stres biofisik yang tinggi sehingga varietas unggul sulit tumbuh dengan baik

tanpa adanya intervensi teknologi. Oleh karena itu, diperlukan penerapan teknologi ameliorasi dan pengelolaan air yang sesuai untuk meningkatkan daya guna lahan terhadap budidaya padi.

Sementara itu, varietas padi lokal seperti jenis siam dinilai lebih toleran terhadap kondisi ekstrem tersebut. Meskipun hasil produksinya rendah, varietas ini tetap menjadi pilihan utama petani karena memerlukan sedikit input produksi, sehingga biaya tanam dapat ditekan. Selain itu, orientasi petani di wilayah rawa pasang surut sebagian besar masih bersifat subsisten, yakni untuk memenuhi kebutuhan konsumsi rumah tangga, bukan untuk tujuan komersial.

Inpara (singkatan dari *Inbrida Padi Rawa*) merupakan kelompok varietas padi unggul yang dikembangkan khusus untuk beradaptasi pada agroekosistem lahan rawa, terutama lahan rawa pasang surut dan lebak. Varietas-varietas Inpara dirakit melalui program pemuliaan oleh Balai Besar Penelitian Tanaman Padi (BB Padi) dan telah melalui seleksi ketat untuk mendapatkan karakter unggul seperti toleran cekaman lingkungan (genangan air, keracunan besi, kekeringan sementara), berumur genjah hingga sedang, produktivitas tinggi, serta daya hasil stabil di berbagai tipe lahan rawa.

Inpara dirakit untuk mengatasi cekaman di lahan rawa pasang surut, terutama kemasaman tanah, keracunan besi dan rendaman. Varietas Inpara 1, 2, 3, 6 dan 7 dirakit dari hasil persilangan galur atau varietas yang memiliki sifat unggul, sedangkan varietas Inpara 4 dan 5 adalah hasil introduksi dari IRRI yang memiliki adaptabilitas baik di lahan rawa. Varietas Inpara 4 berasal dari galur Swarna-Sub 1 (IR05F101). Varietas ini dikembangkan dari varietas yang banyak berkembang di India dan Bangladesh, yaitu Swarna yang diperbaiki dengan memasukkan gen sub 1 yang toleran rendaman. Gen tersebut berasal dari varietas Lokal FR13A. Sedangkan varietas Inpara 5 berasal dari galur IR 64 sub 1 (IR07F102) berpotensi dikembangkan di daerah rawan banjir di lahan rawa lebak dangkal, sawah bonorowo dan sawah di pesisir pantai (Hairmansis *et al.* 2012).

Varietas Inpara telah dikembangkan sejak awal tahun 2000-an sebagai respons terhadap tantangan pertanian di lahan rawa, yang sebelumnya dianggap sebagai lahan marjinal. Penggunaan varietas ini sejalan dengan strategi nasional dalam pemanfaatan lahan rawa sebagai sumber pertumbuhan produksi baru untuk mendukung ketahanan dan kedaulatan pangan nasional. Sampai saat ini, telah dilepas lebih dari 20 varietas Inpara oleh Kementerian Pertanian (misalnya: Inpara 1 hingga Inpara 22), masing-masing dengan keunggulan spesifik, seperti tahan hama/penyakit tertentu, tekstur nasi pulen, atau toleransi cekaman lebih baik.

Secara umum, varietas Inpara memiliki karakteristik sebagai berikut:

- Toleran terhadap cekaman abiotik, seperti genangan air dan keracunan besi (Fe).
- Potensi hasil tinggi, dengan produktivitas antara 4,5–7 ton/ha tergantung jenisnya.
- Adaptif terhadap berbagai tipe lahan rawa, baik pasang surut maupun lebak.
- Memiliki beragam tekstur nasi dan kadar amilosa, yang dapat disesuaikan dengan preferensi konsumen.
- Umumnya berumur 105–130 hari setelah tanam (genjah–sedang).

Pengembangan dan adopsi Inpara di lapangan terbukti meningkatkan produktivitas petani rawa, memperluas areal tanam efektif, serta memperkuat ketahanan pangan nasional melalui intensifikasi lahan rawa yang sebelumnya kurang dimanfaatkan secara optimal. Beberapa keunggulan spesifik varietas inpara dan keragaan beberapa varietas Inpara di lahan rawa tercantum pada diskripsi dan gambar di bawah:

### 1. Inpara 1 (dilepas 2008)

- Umur panen ~131 HSS (tanpa perpanjangan).
- Tinggi tanaman ~111 cm, ~18 anakan produktif.
- Potensi hasil ~6,47 t/ha, rata-rata hasil ~5,65 t/ha di rawa lebak; ~4,45 t/ha di rawa pasang surut.
- Tahan terhadap keracunan Fe dan Al.
- Agak tahan Wereng Batang Coklat (WBC) biotipe 1 & 2.
- Tahan terhadap penyakit hawar daun bakteri (HDB) strain III, IV, VIII.

### 2. Inpara 2 (dilepas 2008)

- Umur ~128 HSS, tinggi ~103 cm, ~16 anakan produktif.
- Potensi hasil ~6,08 t/ha; rata rata ~5,49 t/ha (rawa lebak), ~4,82 t/ha (pasang surut).
- Toleran Al dan Fe, tahan HDB III, tahan blast dan agak tahan WBC biotipe 2.
- Adaptif pada rawa lebak & pasang surut.
- Rasa nasi agak pera, disukai masyarakat di Kalimantan Selatan.

### 3. Inpara 3 (dilepas 2008)

- Umur ~127 HSS, tinggi ~108 cm, ~17 anakan produktif.
- Potensi hasil ~5,6 t/ha, rata-rata ~4,6 t/ha.
- Agak toleran terhadap rendaman 6 hari fase vegetatif.
- Toleran Al dan Fe, agak tahan WBC biotipe 1 & 2.
- Tahan blast (ras 001, 123, 141, 373), agak rentan terhadap HDB.
- Tekstur nasi pera, kandungan amilosa ~28,6% (IG sedang ~59,2%).

### 4. Inpara 4 (dilepas 2010)

- Umur ~135 HSS, tinggi ~94 cm, ~18 anakan produktif.
- Potensi hasil ~7,60 t/ha, rata-rata ~4,7 t/ha.

- Tahan rendaman hingga 14 hari pada fase vegetatif.
  - Tahan HDB patotipe IV & VIII, agak tahan WBC. biotipe 3.
  - Tahan rebah, kerontokan sedang, tekstur nasi pera.
- 5. Inpara 5 "Merawu" (dilepas ~2010)**
- Umur tanam tidak disebutkan eksplisit.
  - Tahan WBC biotipe 1, 2 & 3; tahan HDB patotipe 3; agak tahan virus tungro (inokulum 031 & 013).
  - Beras pecah kulitnya mengandung Fe tinggi (18–33 ppm), cocok untuk fortifikasi alami.
- 6. Inpara 6 "Jete"**
- Umur ~118 HSS, potensi hasil sangat tinggi (~12 t/ha); tekstur nasi pulen.
  - Tahan WBC biotipe 2 & 3, tahan HDB patotipe III & IV.
  - Termasuk tipe padi genjah dengan produktivitas unggul.
- 7. Inpara 7 (dilepas 2012)**
- Potensi hasil: sekitar 5,1 ton/ha GKG; rata-rata ~4,5 ton/ha.
  - Umur panen: ±114 HSS.
  - Tekstur nasi: pulen, kadar amilosa ±20%.
  - Ketahanan: agak tahan terhadap tungro, tahan blas ras 033 & 173, agak tahan blas ras 133.
  - Kelebihan khusus: beras berwarna merah, kaya antioksidan, cocok untuk MP-ASI (bubur beras merah).
- 8. Inpara 8 Agritan (dilepas 2012)**
- Potensi hasil: 6,0 ton/ha GKG (beberapa petani melaporkan hingga ~10 t/ha di lapangan).
  - Umur panen: 115 HSS.
  - Tekstur nasi: pulen, kadar amilosa ±28–28,5%.
- Ketahanan & toleransi:
    - Tahan rendaman hingga 14 hari pada fase vegetatif.
    - Toleran terhadap keracunan besi (Fe).
    - Tahan banjir stagnan (tinggi air sampai 60–80 cm).
    - Agak tahan HDB patotipe IV & VIII, tahan HDB III.
    - Agak tahan blas ras 133, agak rentan WBC biotipe 1 & 2, rentan biotipe 3.
  - Mutu beras: rendemen tinggi—giling ~72%, kepala ~96%.
  - Catatan petani Cilacap: tetap bisa panen sekitar 2 ton per 0,5 ha meskipun lahan banjir total.
- 9. Inpara 9 Agritan (dilepas 2012)**
- Potensi hasil: ~5,6 ton/ha GKG.
  - Umur panen: ±114 HSS.
  - Tekstur nasi: pera, kadar amilosa ~25,2%.
  - Ketahanan & toleransi:
    - Tahan tungro (inokulum Garut & Purwakarta).
    - Tahan HDB patotipe III.
    - Agak rentan terhadap WBC biotipe 1–3.
  - Karakter tambahan: cocok untuk petani yang menginginkan nasi pera dengan mutu gabah/beras dan rasa nasi yang cukup disukai.
- 10. Inpara 22**
- Umur ~118 HSS, tinggi ~103 cm, tahan rebah, kerontokan sedang.
  - Tekstur nasi pulen, amilosa ~21,9%.
  - Rata-rata hasil ~5,8 t GKG/ha, potensi ~7,9 t GKG/ha.
  - Ketahanan: agak tahan WBC biotipe 1–3, tahan HDB patotipe III, rentan IV & VII.
  - Tahan blas ras 033 & 133, agak tahan ras 073 & 173.
  - Cocok untuk sawah dataran rendah (0–600 m dpl), kurang cocok di daerah endemik tungro.



Gambar 1 . Keragaan Inpara di Lahan Rawa

Saat ini pengembangan padi rawa dinilai masih belum meluas di kalangan petani lahan rawa. Hal ini terlihat dari permintaan benih padi rawa masih terbatas. Dua varietas dominan yang banyak diminati petani adalah Ciherang dan Mekongga. Benih Inpara di lapangan masih terbatas. Produksi belum masif seperti Ciherang atau Mekongga karena:

- Permintaan belum tinggi → Petani masih cenderung memilih varietas populer yang dianggap lebih aman hasilnya.
- Skala produksi benih terbatas → Penangkar benih hanya memproduksi sesuai permintaan agar tidak rugi jika benih tidak terserap.
- Masalah permodalan & distribusi → Penangkar butuh modal besar, sedangkan akses pasar belum terjamin.
- Kurang promosi → Belum ada sosialisasi intensif tentang keunggulan Inpara.

Peran pemerintah untuk mengatasi hal tersebut :

- Menyediakan benih sumber (BS & FS) lewat BRMP Padi
- Memberikan bantuan benih bersubsidi dalam program nasional.
- Memfasilitasi penangkaran dan sertifikasi benih agar petani bisa memperoleh benih bersertifikat dengan harga terjangkau.
- Membangun jaringan distribusi melalui Dinas Pertanian, BUMDes, dan mitra swasta.

Varietas Inpara berpeluang dikembangkan di lahan sub-optimal seperti di lahan rawa. Pada lahan lebak dengan kendala genangan air, ternyata varietas Inpara 3 mampu tumbuh dan berproduksi cukup baik, dibandingkan varietas Ciherang yang tidak tahan genangan. Pada lahan pasang surut dengan kendala kemasaman tanah dan keracunan besi, ternyata varietas Inpara 3 dan 4 juga mampu tumbuh dan berproduksi lebih baik dibandingkan dengan varietas Ciherang. Varietas Ciherang akan berproduksi baik pada daerah dengan kondisi lahan yang baik, sedangkan pada daerah dengan kendala kemasaman atau keracunan besi tinggi, varietas ini kurang adaptif.

Hingga saat ini padi lokal masih mendominasi pertanaman padi di lahan rawa terutama lahan pasang surut. Padi lokal berumur 7-9 bulan dengan produktivitas sekitar 2 t/ha sehingga dalam satu tahun lahan rawa hanya bisa ditanami 1 kali (IP 1,00). Kontribusi varietas unggul terhadap peningkatan produksi padi di lahan rawa sangat signifikan karena selain berpeluang meningkatkan IP, juga dapat meningkatkan produktivitas. Skenario peningkatan produksi padi di lahan rawa seluas 2,7 juta ha (50 % dari 5,4 juta ha lahan rawa yang sudah dikembangkan) disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perkiraan produksi padi di lahan rawa pada 3 kondisi Indeks Padi (IP)

Kondisi pertanaman	Luas lahan rawa (ha)	Potensi hasil (t) asumsi 1	Potensi hasil (t) asumsi 2	Potensi hasil (t) asumsi 3	Potensi hasil (t) asumsi 4
IP 1,05 (saat ini)	2.700.000	5.670.000	8.505.000	11.340.000	14.175.000
IP 1,50	2.700.000	8.100.000	12.150.000	16.200.000	20.250.000
IP 2,00	2.700.000	10.800.000	16.200.000	21.600.000	27.000.000

Keterangan: (1) asumsi produktivitas 2 t/ha, (2) Asumsi produktivitas 3 t/ha, (3) asumsi produktivitas 4 t/ha, dan (4) asumsi produktivitas 5 t/ha

Bila saat ini luas lahan rawa yang bisa ditanami padi lokal 2,7 juta ha, IP 1,05, produktivitas 2 t/ha maka potensi hasil padi rawa saat ini hanya sebesar 5,67 juta t/th. Selanjutnya bila Inpara digunakan di lahan yang sama maka sesungguhnya IP berpeluang meningkat dari 1,05 menjadi 1,50 dan produktivitas meningkat dari 2 menjadi 4 t/ha sehingga potensi hasil padi meningkat menjadi 16,20 juta t/th atau ada peningkatan produksi sebesar 10,53 juta t/th. Apalagi bila IP bisa ditingkatkan menjadi 2,00 dengan produktivitas Inpara 5 t/ha maka potensi hasil menjadi 27 juta t/th atau terjadi peningkatan produksi sebesar 21,33 juta t/th. Selanjutnya bila rendemen beras dari gabah sebesar 60%, maka untuk peningkatan IP Inpara menjadi 1,05 dan produktivitas menjadi 4 t/ha akan menghasilkan tambahan produksi beras dari rawa sebesar 6,32 juta t/th atau dalam 2

tahun sebesar 12,64 juta ton. Dengan demikian maka target Kementerian Pertanian untuk surplus beras nasional dapat didukung dari lahan rawa.

Kegiatan sosialisasi pemakaian benih padi Inpara yang telah dilakukan oleh BALITTRA, BSIP RAWA dan BRMP Rawa adalah:

- Sosialisasi dan Pendampingan: melaksanakan *demonstrasi plot* (demplot) di lahan rawa pasang surut/lebak untuk menunjukkan hasil nyata varietas Inpara.
- Sekolah Lapang dan Bimbingan Teknis: petani diberi pelatihan tentang cara budidaya Inpara agar hasil mendekati potensi hasil
- Penyediaan Informasi Teknis: melalui leaflet, brosur, dan media sosial, serta kerja sama dengan penyuluh di lapangan.

- Kolaborasi dengan Dinas Pertanian Daerah: agar pesan sampai ke gapoktan/kelompok tani penerima bantuan benih.

### III. PENUTUP

Varietas Inpara merupakan varietas padi unggul yang adaptif terhadap kondisi lahan rawa, sehingga memiliki potensi besar untuk dikembangkan di wilayah rawa pasang surut maupun lebak. Meskipun memiliki kemampuan adaptasi yang baik, produktivitas Inpara di lapangan masih tergolong belum optimal, dengan hasil rata-rata kurang dari 4,3 ton per hektar. Rendahnya hasil tersebut umumnya disebabkan oleh berbagai kendala biofisik lahan, seperti kemasaman tinggi, keracunan besi, dan keterbatasan pengelolaan air. Oleh karena itu, agar potensi hasil Inpara dapat dimaksimalkan, diperlukan dukungan teknologi terpadu, seperti ameliorasi tanah, perbaikan sistem tata air, dan penerapan budidaya padi berbasis agroekosistem lahan rawa.

### DAFTAR PUSTAKA

- Badan Litbang Pertanian, 2010. Program Pengembangan Sistem Pertanian Estate Lahan Rawa Bekelanjutan. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian. Jakarta.
- Ditjen Pengairan. 2010. Pengembangan Daerah Rawa. Ditjen Pengairan Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Hairmansis, A, Supartopo, B. Kustianto, Suwarno dan H. Pane. 2012. Perakitan dan pengembangan varietas unggul baru padi toleran rendaman air Inpara 4 dan Inpara 5 untuk daerah rawan banjir. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian* 31(1),1-7.
- Manwan, I. Ismail, I.G., Alihamsyah, T., dan Partohardjono, S. 1992. Teknologi pengembangan pertanian lahan rawa pasang surut : potensi, relevansi dan faktor penentu. Dalam S. Partohardjono dan M. Syam (eds.) *Pengembangan Terpadu Pertanian Lahan Rawa Pasang Surut dan Lebak. SWAMPS II- Puslitbangtan*. Bogor.
- Subagyo. 2006. Lahan Rawa Pasang Surut. Dalam *Karakteristik dan Pengelolaan Lahan Rawa*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Departemen Pertanian. Hal. 23-99.
- Suprihatno, B., A.A. Daradjat, Satoto, Baehaki. 2010. Deskripsi Varietas Padi. Balai Besar Penelitian tanaman Padi. Sukamandi. 113 hal.

# Pemanfaatan Penginderaan Jauh sebagai Inovasi Pendukung Pertanian Modern

Gabriella Monja Bestari, Nabila Puspita Safa Febriana, Zalsa Khoirunnisaa Dwi Apriliani

Departemen Ilmu Tanah - Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada

## RINGKASAN

Perkembangan teknologi mendorong sektor pertanian untuk beradaptasi melalui inovasi, salah satunya dengan pemanfaatan teknologi penginderaan jauh. Teknologi ini memungkinkan pengumpulan informasi tentang kondisi lahan dan tanaman secara real-time tanpa kontak langsung, menggunakan citra satelit, drone, dan sensor multispektral. Penginderaan jauh terdiri dari beberapa elemen utama, seperti sumber energi, atmosfer, interaksi energi dengan permukaan bumi, sensor, analisis komputer, dan aplikasi. Sistem sensor dibedakan menjadi sensor pasif yang bergantung pada sinar matahari dan sensor aktif yang memiliki sumber energi sendiri. Dalam praktiknya, penginderaan jauh memberikan banyak manfaat, antara lain pemantauan kesehatan tanaman, deteksi dini serangan hama, perencanaan irigasi, pemetaan lahan, serta estimasi hasil panen. Dampak positifnya meliputi peningkatan produktivitas, efisiensi penggunaan input pertanian, dan pengurangan kerusakan lahan, sehingga berkontribusi pada pertanian presisi dan berkelanjutan. Meski demikian, teknologi ini masih menghadapi sejumlah tantangan seperti keterbatasan infrastruktur, rendahnya literasi digital petani, dan keterbatasan resolusi citra di lahan kecil. Oleh karena itu, dibutuhkan penguatan kapasitas SDM dan pengembangan infrastruktur digital agar teknologi ini dapat diakses dan dimanfaatkan secara optimal dalam mendukung ketahanan pangan nasional.

## I. PENDAHULUAN

**P**erkembangan teknologi yang semakin pesat menuntut sektor pertanian untuk terus berinovasi agar mampu mengatasi tantangan global dalam pertanian seperti perubahan iklim dan ketahanan pangan. Salah satu inovasi yang mulai diterapkan untuk pertanian modern yaitu teknologi penginderaan jauh. Penggunaan teknologi penginderaan jauh menggunakan citra satelit sering digunakan untuk menilai, memantau dan memprediksi perubahan tutupan lahan menggunakan berbagai variabel data spasial (Febianti *et al.* 2023). Pemanfaatan teknologi penginderaan jauh seperti citra satelit, drone, dan sensor multispektral dapat membantu petani menerima informasi yang lebih rinci dan *real time* tentang kondisi lahan pertanian.

Penggunaan teknologi penginderaan jauh berguna bagi petani, pekerja ekspansi pertanian, dan peneliti karena dapat digunakan untuk memonitoring perkembangan lingkungan sekitar serta mengontrol keseimbangan antara

manusia dengan lingkungan (Kusuma *et al.* 2021). Hal ini tentu saja mempengaruhi keuntungan produktivitas, efektivitas biaya, dan keberlanjutan ekologi. Namun, dibalik manfaatnya sangat besar, penggunaan penginderaan jauh di sektor pertanian tetap menjadi sejumlah hambatan dalam hal infrastruktur, aksesibilitas data, keterampilan SDM, dan celah digital yang masih cukup jauh antara daerah perkotaan dan pedesaan. Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif tentang ruang lingkup penginderaan jauh, fungsionalitas, dan aplikasi dalam pertanian modern sangat penting untuk terus disosialisasikan dan dikembangkan.

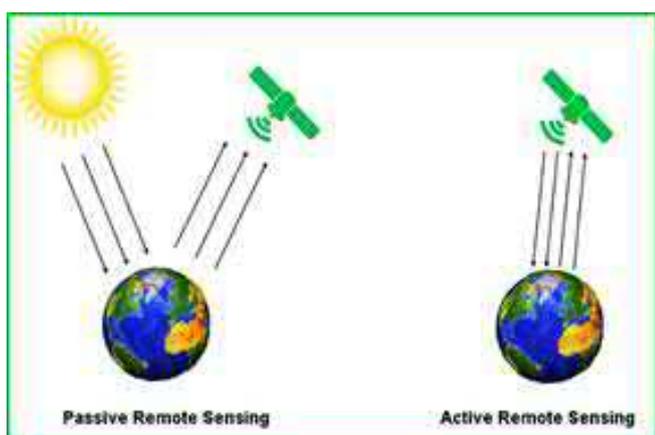
## II. ELEMEN - ELEMEN UTAMA DAN SISTEM SENSOR PADA PENGINDERAAN JAUH

Penginderaan jauh atau *remote sensing* adalah ilmu yang mempelajari untuk mendapatkan informasi tentang suatu objek, wilayah, ataupun fenomena menggunakan suatu alat tanpa kontak langsung. Ciri utama dari citra dalam penginderaan jauh adalah adanya variasi kanal (*band*) berdasarkan panjang gelombang elektromagnetik. Sistem penginderaan jauh mampu mendeteksi berbagai jenis radiasi, termasuk radiasi dari sinar matahari yang merambat melalui gelombang elektromagnetik. Rentang panjang gelombang yang digunakan biasanya mencakup wilayah cahaya tampak (*visible*), inframerah dekat (*near infrared*), hingga inframerah menengah (*middle infrared*), serta distribusi energi panas (termal) yang dipantulkan dari permukaan bumi. Setiap jenis material di permukaan bumi memiliki kemampuan pantul (reflektansi) yang berbeda terhadap sinar matahari, sehingga masing-masing akan tampak berbeda pada tiap kanal panjang gelombang yang digunakan (Has & Sulistiawaty, 2018).

Pada penginderaan jauh terdapat elemen-elemen utama yang dapat mempengaruhi perolehan data citra yang akurat, yaitu sumber energi, atmosfer, interaksi energi dengan permukaan bumi, sensor, analisis komputer, dan aplikasi. Sumber energi sebagai penyedia radiasi elektromagnetik yang akan dipantulkan oleh objek sehingga dapat menghasilkan data citra. Objek yang terdapat di atmosfer dapat mempengaruhi kualitas data karena dapat terjadi hamburan, penyerapan, atau pembiasan karena adanya awan atau objek lainnya. Setiap objek yang ada di permukaan bumi akan memantulkan panjang gelombang yang berbeda-beda dan direkam oleh sensor. Sensor adalah alat yang digunakan untuk merekam energi elektromagnetik yang telah berinteraksi dengan objek di permukaan bumi. Agar data citra dapat digunakan perlu proses analisis terlebih

dahulu agar lebih akurat, seperti koreksi radiometrik, koreksi geometrik, dan sebagainya. Lalu aplikasi data citra dapat digunakan untuk mendukung pertanian modern (Rendra *et al.* 2019).

Terdapat dua macam sistem sensor dalam penginderaan jauh yaitu sistem sensor pasif dan aktif. Sistem sensor pasif merekam radiasi elektromagnetik yang dipantulkan oleh matahari. Berarti sistem sensor pasif membutuhkan bantuan radiasi matahari untuk dapat merekam radiasi elektromagnetiknya, sehingga hanya dapat bekerja disaat objek atau wilayah tersebut terkena sinar matahari. Sedangkan sistem sensor aktif merekam radiasi elektromagnetik dengan sumber energi yang dipancarkan oleh sensor itu sendiri. Sehingga sensor aktif dapat bekerja siang dan malam tanpa menunggu bantuan dari energi alami (matahari) (Dimiyati, 2022).



Gambar 2.1 Sistem Sensor Penginderaan Jauh

Contoh sensor pasif adalah Landsat, Ikonos, SPOT, dan GeoEye, sedangkan sensor aktif yaitu Sentinel, Radar, dan LiDAR.

### III. MANFAAT PENGINDERAAN JAUH DALAM PERTANIAN

Penginderaan jauh memiliki banyak manfaat yang dapat memberikan kemudahan dalam operasional pertanian. Penginderaan jauh dapat memantau dan memberikan informasi terkait pertumbuhan dan kondisi tanaman dengan cara yang lebih efisien jika dibandingkan dengan cara tradisional. Pemantauan kesehatan tanaman dapat dilakukan tanpa harus melakukan kontak langsung dengan tanaman. Wilayah yang luas dan sulit dijangkau pun dapat dipantau dengan cepat. Adanya peringatan dini terhadap OPT dapat segera diambil tindakan jika terdapat masalah. Resiko kerugian yang disebabkan oleh penyakit, hama, ataupun faktor lingkungan yang tidak mendukung dapat dikurangi (Sakti *et al.* 2023).

Penginderaan jauh juga dapat membantu untuk mengurangi risiko kekeringan. Sensor yang digunakan untuk

memantau kekeringan adalah Thermal Infrared. Sensor tersebut mampu merekam data suhu permukaan bumi. Jadi irigasi dapat segera dilakukan jika ada ancaman kekeringan (Prasetyo *et al.* 2019).

Perencanaan pertanian dapat dilakukan dengan mudah karena adanya penginderaan jauh berdasarkan kesesuaian lahan, topografi, dan tingkat produktivitas. Dibuat pemetaan lahan pertanian dan analisis zona produksi berdasarkan data yang didapatkan. Analisis zona potensi lahan dapat meningkatkan keberhasilan produksi pertanian. Analisis yang dilakukan dengan penginderaan jauh dinilai lebih efisien karena dapat melakukan monitoring secara tidak langsung. Pengolahan lahan pun dapat dilakukan secara maksimal karena menyesuaikan kemampuan lahan tersebut (Wahyuni, 2024).

### IV. DAMPAK POSITIF PENGINDERAAN JAUH TERHADAP PRODUKTIVITAS PERTANIAN

Di tengah tantangan pertanian modern seperti perubahan iklim, keterbatasan lahan, dan kebutuhan efisiensi produksi, penggunaan teknologi menjadi sebuah keharusan. Salah satu inovasi yang kini mulai diadopsi dalam sektor pertanian adalah penginderaan jauh. Teknologi ini memungkinkan petani dan pihak terkait untuk memantau kondisi lahan dan tanaman dari jarak jauh, tanpa harus selalu hadir di lapangan. Dengan dukungan teknologi canggih seperti sensor, drone, citra satelit, dan analisis data visual, penginderaan jauh membuka peluang besar untuk mengelola pertanian secara presisi dan berkelanjutan (Swasono & Muthmainah, 2023).

Dampak positif penginderaan jauh terhadap pertanian sangat luas. Pertama, dari segi produktivitas, penginderaan jauh dengan menggunakan drone membantu petani memantau kesehatan tanaman secara rutin dan akurat. Drone memberikan kemudahan akses ke berbagai lokasi, termasuk area yang sulit dijangkau secara manual. Dengan kemampuan terbang di wilayah luas, drone dapat memberikan informasi menyeluruh mengenai kondisi tanaman. Teknologi ini memungkinkan deteksi dini terhadap gangguan seperti penyakit, hama, atau stres lingkungan, sehingga petani dapat mengambil tindakan cepat dan tepat. Dilengkapi kamera beresolusi tinggi dan sensor, drone juga mampu merekam perubahan kondisi tanaman dari waktu ke waktu serta menyajikan data multispektral dan inframerah untuk memantau kebutuhan air, tingkat fotosintesis, dan status nutrisi tanaman. Dengan informasi ini, tindakan cepat dapat diambil, sehingga potensi hasil panen meningkat. Selain itu, penginderaan jauh juga mendukung efisiensi input pertanian, petani dapat menentukan dengan tepat kapan dan di mana harus memberikan pupuk, air, atau pestisida,

sehingga tidak ada pemborosan biaya dan tenaga (Nina, 2023).

Penggunaan penginderaan jauh dalam pertanian memberikan dampak positif yang signifikan terhadap produktivitas dan kelestarian lingkungan. Dengan data yang akurat dan pemantauan yang rutin, petani dapat mengelola lahannya secara lebih presisi, sehingga hasil panen pun meningkat. Selain itu, teknologi ini membantu mengurangi penggunaan pupuk dan air secara berlebihan karena aplikasinya dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman di setiap bagian lahan. Hal ini tidak hanya menekan biaya produksi, tetapi juga lebih ramah lingkungan. Di sisi lain, penginderaan jauh mampu mencegah kerusakan lahan akibat perlakuan yang salah, karena kondisi tanah dan tanaman dapat dipantau secara menyeluruh sebelum dilakukan tindakan (Soedarto & Ainiyah, 2022).

## V. CONTOH PENERAPAN

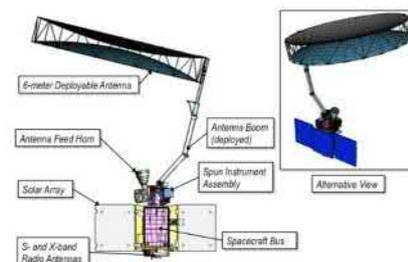
Penerapan teknologi penginderaan jauh dalam pertanian presisi menurut Khanal *et al.* (2020), yaitu:

1. Menghubungkan pengamatan penginderaan jauh dengan variabel-variabel yang menarik dalam pertanian. Para peneliti sering memadukan data dari satelit dengan data yang dikumpulkan langsung di lapangan menggunakan dua cara: pendekatan berdasarkan data nyata (empiris) atau berdasarkan pemahaman proses alami (mekanis), atau gabungan keduanya. Contoh pendekatan empiris yaitu dengan menganalisis nitrogen pada tanaman dengan membandingkan warna atau pola dari citra satelit antara ladang biasa dengan ladang yang sudah dipupuk. Sementara itu, pendekatan mekanis menggunakan data dari satelit tentang daun dan kandungan hijau daun, kemudian dimasukkan ke dalam model pertumbuhan tanaman.
2. Penginderaan jauh membantu dalam mengambil keputusan untuk kegiatan pertanian. Keputusan dapat diambil berdasarkan gambar yang ditangkap oleh drone atau gambar dari satelit dengan memperhatikan resolusi spasial, resolusi spektral, dan resolusi temporal.
3. Perencanaan penanaman tanaman. Pemetaan bentuk permukaan tanah seperti tinggi dan kemiringan. Sebelum musim tanam dimulai, petani perlu membuat keputusan penting, misalnya kapan mulai mengolah lahan, jenis tanaman apa yang cocok, dan seberapa rapat benih akan ditanam. Keputusan-keputusan ini sering bergantung pada bentuk permukaan lahan seperti seberapa curam lerengnya, seberapa tinggi letaknya, dan arah lereng tersebut. Bentuk lahan ini juga memengaruhi pergerakan air di tanah, yang pada akhirnya berpengaruh pada kelembaban dan suhu tanah.

Informasi tentang tinggi dan bentuk lahan bisa didapat dari model elevasi digital (DEM), yang bisa dibuat dengan bantuan alat GPS khusus (baik yang dipakai dalam survei atau yang terpasang di alat pertanian), maupun dengan citra dari penginderaan jauh.

### 4. Penyiapan lahan

Suhu tanah dan tingkat kelembapan sangat berpengaruh dalam pengambilan keputusan pertanian, seperti kapan menanam, kapan memberi pupuk, dan kapan menyiram tanaman. Untuk membantu hal ini, teknologi satelit modern seperti SMAP (*soil moisture active passive*) dan Sentinel-1 telah dilengkapi sensor gelombang mikro aktif dan pasif yang mampu memantau kelembapan tanah secara luas dan berkala.



Gambar 1. Soil Moisture Active Pasive

### 5. Penanaman

Perbedaan jumlah dan sebaran tanaman di suatu lahan, baik dari satu tempat ke tempat lain maupun dari waktu ke waktu, bisa sangat memengaruhi hasil panen dan cara panen dilakukan. Jika informasi ini tersedia dengan cepat, petani bisa mengambil langkah seperti menanam ulang di bagian yang kurang baik, atau menyesuaikan jumlah pupuk, herbisida, dan pestisida yang diberikan di tengah musim. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa drone bisa digunakan untuk mendeteksi tanaman dengan akurat dan menghitung jumlahnya di lapangan.



Gambar 2. Pemantauan dengan Drone

6. Pemantauan kesehatan tanaman selama musim tanam. Pemanfaatan penginderaan jauh memungkinkan cara yang cepat dan tidak merusak tanaman untuk mendeteksi, mengukur, dan memetakan stres pada tanaman pangan. Dengan informasi ini, petani bisa membuat keputusan pengelolaan yang lebih tepat sasaran, seperti memberikan nutrisi atau insektisida

hanya di area yang membutuhkan, bukan di seluruh lahan.

#### 7. Pemanenan

Citra satelit dapat menjadi bahan yang digunakan untuk membuat peta hasil panen yang lebih detail sebab gambar tersebut dapat memberi tau bagian ladang yang memberikan hasil panen yang banyak dan yang kurang.

#### 8. Pasca-panen

Teknologi drone untuk memantau residu tanaman yang sudah dipanen, yang akan membantu memahami peran pengelolaan residu pada dinamika tanah-air-nutrisi.

## VI. TANTANGAN PENGGUNAAN PENGINDERAAN JAUH UNTUK PERTANIAN

Teknologi penginderaan jauh memberikan berbagai manfaat dan dampak positif bagi petani saat ini. Akan tetapi terdapat tantangan yang dihadapi dalam pengoperasiannya. Perlu keahlian khusus dalam menganalisis data dan mampu memahami hasil pemantauan secara efektif. Penggunaan drone juga memerlukan keahlian khusus agar dapat digunakan secara efektif (Nina, 2023).

Meskipun citra satelit menawarkan potensi besar dalam mendukung pertanian, penerapannya di Indonesia menghadapi sejumlah tantangan. Dua tantangan utama berasal dari karakteristik citra itu sendiri dan kondisi geografis serta pola pertanian Indonesia. Citra optik seperti Landsat-8 dan Sentinel-2 sering tertutup awan, terutama di wilayah tropis yang lembap seperti Indonesia. Citra radar seperti Sentinel-1 mampu menembus awan, tetapi jumlah bandnya terbatas dan masih jarang digunakan untuk klasifikasi tanaman secara spesifik. Selain itu, citra satelit memiliki kompleksitas tinggi karena memuat data spektral multi-band dan mencakup beragam objek dalam satu gambar, sehingga sulit dibedakan. Citra juga disediakan dalam potongan (*scene*) dengan tanggal berbeda, sehingga sinkronisasi data dengan label lapangan menjadi tantangan tersendiri (Triscowati & Wijayanto, 2019).

Prediksi tanaman bersifat dinamis dan harus memperhatikan konsistensi antar waktu, misalnya transisi antar fase tanam. Keragaman jenis dan waktu tanam di Indonesia membuat akurasi prediksi lebih sulit dicapai. Ditambah lagi, ukuran petakan lahan pertanian sering kali lebih kecil dari resolusi piksel citra, menyulitkan klasifikasi. Kemudian, infrastruktur analisis berbasis cloud masih terbatas dan sebagian besar layanan berbayar, padahal dibutuhkan sistem yang gratis dan efisien untuk memproses data berskala besar serta menghasilkan model yang stabil di wilayah dengan keragaman tinggi seperti Indonesia (Triscowati & Wijayanto, 2019).

## VI. PENUTUP

Penginderaan jauh merupakan teknologi inovatif yang memberikan kontribusi besar dalam mewujudkan pertanian modern yang efisien, presisi, dan berkelanjutan. Melalui citra satelit, drone, dan sensor multispektral, teknologi ini memungkinkan pemantauan kondisi lahan dan tanaman secara real-time tanpa kontak langsung, sehingga mendukung pengambilan keputusan berbasis data. Beragam manfaat seperti deteksi dini hama, pemantauan kekeringan, pengelolaan irigasi, hingga optimalisasi input pertanian menjadikan penginderaan jauh sangat relevan dalam menghadapi tantangan pertanian saat ini, seperti perubahan iklim dan keterbatasan lahan.

Namun, pemanfaatannya juga menghadapi tantangan, antara lain keterbatasan infrastruktur, kompleksitas data, keterampilan SDM, serta keterbatasan resolusi citra terhadap ukuran petakan lahan yang kecil. Oleh karena itu, pengembangan kapasitas teknis, infrastruktur digital, serta model analisis yang adaptif terhadap kondisi geografis Indonesia sangat penting agar teknologi penginderaan jauh dapat diakses secara merata dan optimal dalam mendukung ketahanan pangan nasional.

Permasalahan yang terjadi pada piksel citra yang kecil di daerah dengan keragaman tinggi di Indonesia adalah dengan melakukan data fusion atau penggabungan data dari berbagai sumber citra satelit. Citra resolusi spasial tinggi seperti dari WorldView atau Sentinel-2 bisa dikombinasikan dengan citra resolusi temporal tinggi seperti MODIS, sehingga informasi spasial yang detail tetap bisa diperoleh sambil tetap menangkap dinamika perubahan secara berkala. Selain itu, penggunaan metode klasifikasi berbasis *object-based image analysis* (OBIA) juga menjadi alternatif, karena pendekatan ini menganalisis objek (kumpulan piksel) daripada piksel individual, yang dapat mengurangi pengaruh dari variabilitas internal dalam setiap piksel kecil yang mungkin terjadi pada wilayah yang sangat heterogen seperti di Indonesia. Pendekatan ini memungkinkan interpretasi yang lebih akurat terhadap fenomena yang kompleks di lapangan.

Dalam mengatasi tantangan keragaman pola tanam di berbagai wilayah pertanian Indonesia, solusi yang efektif adalah dengan mengimplementasikan pemantauan multi-temporal menggunakan citra satelit dengan resolusi temporal tinggi. Penggunaan data *time series* dari sensor seperti Sentinel-2 atau MODIS memungkinkan analisis dinamika vegetasi sepanjang musim tanam, sehingga pola tanam yang berbeda-beda dapat dikenali berdasarkan variasi indeks vegetasi seperti NDVI. Selain itu, pendekatan berbasis pembelajaran mesin atau machine learning juga sangat membantu, karena algoritma seperti *Random Forest* atau *Long Short-Term Memory* (LSTM) mampu mengidentifikasi

pola kompleks dari data multiwaktu dan multivariat. Integrasi data spasial dengan data lapangan serta pemetaan berbasis klasifikasi waktu tanam juga menjadi langkah penting untuk memastikan informasi yang diperoleh sesuai dengan kondisi riil di lapangan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Dimiyati M. 2022. Memahami Penginderaan Jauh Mandiri. UI Publishing, Jakarta. 29 pp.
- Febianti V, Sasmito B, dan Bashit N. 2023. Pemodelan perubahan tutupan lahan berbasis penginderaan jauh (Studi kasus: Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*. 11(3):111-120.
- Has SN, dan Sulistiawaty. 2018. Pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk mengenali perubahan penggunaan lahan pada kawasan Karst Maros. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*. 14(1):60-66.
- Khanal SKK, Fulton JP, Shearer S, dan Ozkan E. 2020. Remote sensing in agriculture accomplishments, limitations, and opportunities. *Remote sensing*. 12(22):1-29.
- Kusuma BA, Purwadi P, dan Marcos H. 2021. Pelatihan klasifikasi tutupan lahan sebagai teknologi penginderaan jarak jauh untuk pemantauan lahan pertanian di Kabupaten Banyumas. *Community Engagement & Emergence Journal*, 2(1):28-35.
- Nina, A. 2023. Efektifitas Drone Sebagai Media Penginderaan Jauh Untuk Pemantauan Kesehatan Tanaman. *Jurnal Technopreneur (JTech)*. 11(2) :50-55.
- Prasetyo SYJ, Christianto YB, dan Hartomo KD. 2019. Analisis data citra landsat 8 oli sebagai indeks prediksi kekeringan menggunakan machine learning di Wilayah Kabupaten Boyolali dan Purworejo. *Indonesia Journal of Computing and Modeling*. 2(2):25-36.
- Rendra PPR, Sulaksana N, dan Alam BYCSSS. Peran citra satelit landsat 8 dalam identifikasi tata guna lahan di wilayah Kabupaten Sumedang. *Bulletin of Scientific Contribution Geology*. 17(2):101-108.
- Sakti ANE, Khurizil MM, Aprilia DN, Sudarti, dan Trapsilo. 2023. Efektifitas drone sebagai media penginderaan jauh untuk pemantauan kesehatan tanaman. *JTech*. 11(2):50-55.
- Soedarto T, dan Ainiyah RK. 2022. Teknologi Pertanian Menjadi Petani Inovatif 5.0: Transisi Menuju Pertanian Modern. *Pub. Uwais Inspirasi Indonesia.*, Sidoarjo. 129 pp.
- Swasono MAH, dan Muthmainah HN. 2023. Pemanfaatan teknologi informasi dalam optimalisasi produksi tanaman pangan: studi bibliometrik skala nasional. *Jurnal Multidisiplin West Science*. 2(08):668-683.
- Triscowati DW, dan Wijayanto AW. 2019. Peluang dan tantangan dalam pemanfaatan teknologi penginderaan jauh dan machine learning untuk prediksi data tanaman pangan yang lebih akurat. In *Seminar Nasional Official Statistics*. 2019(1):77-187.
- Wahyuni P. 2024. Pemetaan potensi lahan pertanian padi sawah berdasarkan indeks potensi lahan di Kabupaten Solok Selatan. *Publikasi Ilmu Teknik, Teknologi Kebumihan, Ilmu Perkapalan*. 2(3):8-18.

**TIM REDAKSI. Penanggungjawab :** Asdianto, S.P., M.T ; **Ketua Redaksi :** Anggri Hervani, S.P. M.Sc; **Ketua Editor :** Dr. Maulia Aries Susanti, S.P., M.Sc; **Editor :** Ir. Rudi Eko Subandiono, M.Sc, Lady Hafidaty Rahma Kautsar, S.Si., M.Si, Laelatul Qodaryani, S.Kom; **Sekretariat :** Ferdiana Ayu Cahyaningtyas, A.Md; **Desain Sampul & Penata Isi :** Andriyan Priyatna, S.I.Kom.

### Petunjuk bagi Penulis

#### Ketentuan Umum

Warta Sumber Daya Lahan Pertanian bertujuan untuk mempublikasikan tulisan semi ilmiah atau populer terkait sumberdaya lahan pertanian, perubahan iklim pertanian, informasi geospasial, serta hasil-hasil produk standar dan pengujian sumberdaya lahan pertanian.

#### Ruang lingkup

Warta ini menerima tulisan-tulisan dari topik sumberdaya lahan dan perubahan iklim, meliputi:

- Data dan Informasi Geospasial
- Pengelolaan Sumber Daya Lahan
- Ilmu Tanah dan Pemupukan
- Agroklimat dan Hidrologi Pertanian
- Lahan Rawa Pertanian
- Lingkungan Pertanian
- Perubahan Iklim Pertanian
- Rekomendasi kebijakan sumber daya lahan
- Pengelolaan lahan pertanian berkelanjutan
- Penyebarluasan dan penerapan standar instrumen sumber daya lahan dan perubahan iklim pertanian

#### Struktur

Naskah disusun dalam urutan: judul tulisan, nama penulis dengan alamat instansinya, alamat email penulis utama, ringkasan, pendahuluan, topik-topik yang dibahas, penutup, serta daftar pustaka (yang relevan dengan topik bahasan dan terbit 7 tahun terakhir).

#### Bentuk Naskah

Makalah harus diketik pada kertas ukuran A4 dengan spasi ganda dan pias atas, bawah, kiri, kanan 2.5 cm, dengan draft antara 6-12 halaman termasuk tabel dan gambar. Font harus menggunakan Calibri ukuran 10 pt dalam format MS Word. Tabel dan gambar dapat dipisahkan dari tubuh tulisan dan diletakan setelah daftar pustaka, namun lokasi tabel dan gambar harus ditandai di dalam tubuh tulisan.

#### Judul Naskah

Judul harus jelas, faktual, informatif dan terdiri dari maksimum 10 kata. Nama penulis harus ditulis di bawah judul, yang dilengkapi dengan alamat penulis.

#### Ringkasan

Merupakan inti sari dari seluruh tulisan, maksimal 250 kata. Abstrak harus menguraikan tulisan secara singkat.

#### Pendahuluan

Berisi poin-poin penting dari isi naskah, latar belakang, pengantar, tujuan tulisan dan ruang lingkup topik bahasan.

#### Topik bahasan

Berisi Informasi tentang topik yang dibahas sesuai dengan ruang lingkup warta sumber daya lahan pertanian dan disusun secara terstruktur.

#### Penutup

Berisi kesimpulan dari topik pembahasan.

#### Daftar Pustaka

Referensi yang relevan dengan topik bahasan dan terbit 7 tahun terakhir. Daftar pustaka harus dilist menurut urutan alfabet. Berikut ini adalah format dasar yang digunakan:

#### *Artikel Jurnal*

Akhter M, Sneller CH. 1996. Yield and yield components of early maturing soybean genotypes in the mid-south. *Crop Sci.* 36(1):877-882.

#### *Buku*

Bosc AN, Ghosh SN, Yang CT, Mitra A. 1991. *Coastal Aquaculture Engineering*. Oxford and IBH Pub. Co. Prt. Ltd., New Delhi. 365 pp.



# WARTA

## SUMBER DAYA LAHAN PERTANIAN

Warta ini diterbitkan oleh Balai Besar Perakitan dan Modernisasi Sumber Daya Lahan Pertanian sebagai sarana diseminasi informasi ilmiah dan semi-ilmiah di bidang sumber daya lahan pertanian.

Kami menyampaikan penghargaan kepada para penulis yang telah berkontribusi dalam bentuk naskah ilmiah. Melalui penerbitan ini, diharapkan terjadi peningkatan pemahaman dan penerapan ilmu pengetahuan dalam pengelolaan sumber daya lahan, sehingga dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan pertanian berkelanjutan di Indonesia.

Publikasi ini memuat artikel-artikel yang bertujuan untuk memperkaya khasanah keilmuan serta memberikan pemahaman yang lebih luas mengenai aspek-aspek terkait lahan pertanian, termasuk tanah, lingkungan, agroklimat, ekosistem rawa, dan topik relevan lainnya.

### Penanggung Jawab

Asdianto, S.P., M.T

### Ketua Redaksi

Anggri Hervani, S.P., M.Sc

### Ketua Editor

Dr. Maulia Aries Susanti, S.P., M.Sc

### Sekretariat

Ferdiana Ayu Cahyaningtyas, A.Md

## TIM REDAKSI

### Editor

Ir. Rudi Eko Subandiono, M.Sc

Lady Hafidaty Rahma Kautsar, S.Si., M.Si

Laelatul Qodaryani, S.Kom

### Desain Sampul & Penata Isi

Andriyan Priyatna, S.I.Kom

