



WARTA

SUMBER DAYA LAHAN PERTANIAN



01

Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat Berbasis Bahan Amandemen

02

***Land-Based Climate Governance* Dalam Penguatan Kebijakan Lahan Pertanian Berkelanjutan**

03

***Agrivoltaic*: Model Pertanian Masa Depan Berbasis Energi Surya Dan Efisiensi Lahan**

04

Pemanfaatan Mulsa Plastik Untuk Meningkatkan Produktivitas Padi Gogo Di Lahan Kering

05

Peran Biostimulan dalam Meningkatkan Pertumbuhan, Produktivitas, dan Ketahanan Tanaman Hortikultura

06

Mekanisasi Kultivasi : Solusi Rehabilitasi Lahan Perkebunan Teh

Edisi **Warta SDLP Vol. 3 No. 2 (Agustus 2026)**

mengangkat perspektif bahwa keberlanjutan lahan pertanian di era saat ini tidak lagi dapat diwujudkan melalui satu pendekatan tunggal (*single approach*). Diperlukan sinergi multidimensi yang memadukan tata kelola kebijakan yang adaptif terhadap iklim, upaya rehabilitasi dan remediasi lahan yang terdegradasi, serta adopsi teknologi presisi (mekanisasi, agrivoltaik, dan biostimulan). Masa depan pertanian bukan lagi tentang bagaimana mengeksploitasi lahan semaksimal mungkin, melainkan bagaimana berkolaborasi dengan alam melalui rekayasa teknologi dan kebijakan yang bijak untuk menciptakan ketahanan pangan dan energi yang berkesinambungan. Kami mengucapkan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada para penulis, peneliti, dan praktisi yang telah berkontribusi dalam edisi ini. Semoga Warta SDLP edisi ini dapat menjadi inspirasi, referensi kebijakan, serta pemantik inovasi bagi para pemangku kepentingan dalam merawat bumi dan menjamin masa depan pertanian kita.

Warta

SUMBER DAYA LAHAN PERTANIAN

Vol. 3 No. 2, Agustus 2026

Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat Berbasis Bahan Amandemen

Aurora Madania Khusnul

Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada

RINGKASAN

Pencemaran logam berat pada tanah telah menjadi masalah lingkungan global yang mengancam ekosistem, produktivitas pertanian, dan kesehatan manusia. Logam berat bersifat persisten, sulit terdegradasi, dan cenderung terakumulasi dalam tanah, sehingga memerlukan strategi remediasi yang efektif. Tulisan ini membahas teknik remediasi kimia yang melibatkan penambahan bahan amandemen dalam tanah. Bahan amandemen organik maupun anorganik seperti biochar, kapur, zeolit, dan batuan fosfat tidak hanya efektif dalam imobilisasi logam berat tetapi juga memperbaiki sifat fisika-kimia tanah. Oleh karena itu, penerapan bahan amandemen yang tepat dengan dosis yang sesuai dan pemantauan berkelanjutan berpotensi menjadi pendekatan remediasi yang efektif, praktis, dan ramah lingkungan untuk menekan risiko pencemaran logam berat di tanah.

I. PENDAHULUAN

Tanah bukan hanya sistem pendukung utama untuk menopang kehidupan manusia, tetapi juga komponen penting dari sistem bumi. Dalam beberapa tahun terakhir, pencemaran logam berat (*heavy metal*) tanah telah menjadi masalah lingkungan di seluruh dunia yang telah menarik perhatian publik. Menurut Kumar *et al.*, (2019), lebih dari lima juta lokasi di seluruh dunia telah terkontaminasi logam berat.

Logam berat seperti Timbal (Pb), Kadmium (Cd), seng (Zn), dan Kromium (Cr) merupakan kontaminan yang tidak dapat terurai secara biologis dan bersifat persisten di dalam tanah. Logam berat memiliki efek merugikan dalam lingkungan bahkan dalam konsentrasi yang sangat rendah. Logam berat dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan degradasi kualitas tanah. Kandungan logam berat yang berlebihan pada tanah dapat mempengaruhi sifat fisikokimia tanah dan menghambat pertumbuhan serta reproduksi tanaman, sehingga menimbulkan resiko ekologis (Yadav *et al.*, 2023).

Permasalahan pencemaran logam berat tidak hanya terjadi secara global, tetapi juga telah banyak ditemukan di Indonesia, khususnya pada lahan pertanian. Penelitian di lahan sawah DAS Citarum, Kabupaten Bandung menunjukkan bahwa konsentrasi Cd telah masuk kategori sangat tercemar berdasarkan analisis faktor kontaminan dan berpotensi tinggi menimbulkan risiko ekologis (Handayani *et al.*, 2022). Di Kecamatan Rancaekek, lahan sawah yang diairi oleh Sungai Cikijing menunjukkan kadar logam Tembaga (Cu) di beberapa titik dan Seng (Zn) di sebagian besar titik pengambilan sampel yang telah melampaui baku mutu yang ditetapkan (Agustine *et al.*, 2022). Sementara di Kabupaten

DAFTAR ISI

Remediasi Tanah Tercemar Logam Berat Berbasis Bahan Amandemen.....	1
<i>Land-Based Climate Governance</i> Dalam Penguatan Kebijakan Lahan Pertanian Berkelanjutan.....	7
<i>Agrivoltaic</i> : Model Pertanian Masa Depan Berbasis Energi Surya Dan Efisiensi Lahan.....	13
Pemanfaatan Mulsa Plastik Untuk Meningkatkan Produktivitas Padi Gogo Di Lahan Kering.....	18
Peran Biostimulan dalam Meningkatkan Pertumbuhan, Produktivitas, dan Ketahanan Tanaman Hortikultura.....	22
Mekanisasi Kultivasi : Solusi Rehabilitasi Lahan Perkebunan Teh.....	27

Labuhanbatu, Sumatera Utara, kadar Timbal (Pb) pada tanah sawah di Desa Sigambal melebihi nilai referensi alami dengan nilai *Pollution Load Index* (PLI) jauh di atas ambang batas 1, yang mengindikasikan tanah telah mengalami pencemaran secara umum (Tambunan *et al.*, 2025). Temuan-temuan tersebut menunjukkan bahwa pencemaran logam berat pada lahan pertanian di Indonesia merupakan ancaman nyata terhadap produktivitas lahan, keamanan pangan, dan kesehatan masyarakat sehingga diperlukan upaya pengelolaan dan remediasi yang efektif. Strategi mitigasi yang inovatif dan berkelanjutan sangat penting untuk mengurangi bioavailabilitas, mobilitas, dan toksisitas logam berat di tanah yang terkontaminasi. Salah satu teknik remediasi yang efektif adalah stabilisasi kimia, yaitu metode yang menggunakan bahan pengikat (amandemen) untuk mengurangi mobilitas dan bioavailabilitas logam berat di tanah dengan cara mengubah bentuk kimia logam berat menjadi senyawa yang lebih stabil dan kurang larut. Proses ini berlangsung melalui beberapa mekanisme, seperti adsorpsi, pertukaran ion, presipitasi, dan khelasi (Lan *et al.*, 2020). Bahan amandemen yang ditambahkan dapat berupa senyawa organik, kapur, material lempung, dan senyawa fosfat (Lwin *et al.*, 2018).

II. SUMBER PENCEMARAN LOGAM BERAT DALAM TANAH

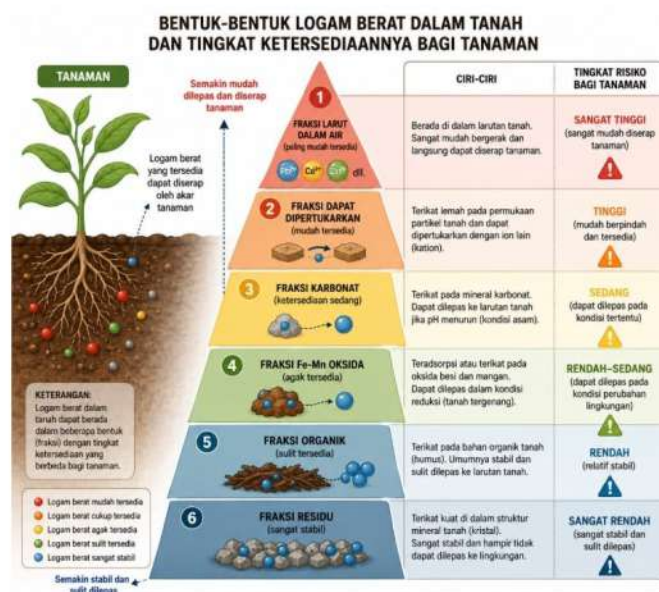
Logam berat memiliki sumber alami dan antropogenik. Sumber alami logam berat berasal dari bahan induk tempat logam berat tersebut berasal. Logam berat dapat menyusup ke ekosistem melalui sejumlah jalur, termasuk atmosfer, litosfer, dan hidrosfer (Rahman & Singh, 2019). Sumber antropogenik yang menyumbangkan logam berat berasal dari aktivitas pertanian, industri, pertambangan, dan sumber logam berat melalui udara. Penggunaan pupuk dalam jumlah besar pada pertanian intensif dapat mengandung sejumlah logam berat seperti Kadmium (Cd) dan Timbal (Pb) sebagai kontaminan. Selain itu, penggunaan pupuk fosfat tertentu dapat secara tidak sengaja memasukkan unsur-unsur ini dan unsur lain yang berpotensi membahayakan seperti fluor, merkuri, dan timbal ke dalam tanah (Rashid *et al.*, 2023). Pestisida yang sering digunakan terdiri dari senyawa yang meliputi tembaga, merkuri, mangan, timbal, atau seng. Penggunaan pestisida secara berlebihan tentunya dapat menyebabkan logam berat terakumulasi dalam tanah (Alengebawey *et al.*, 2021). Berbagai industri termasuk manufaktur tekstil, penyamakan kulit, produksi petrokimia, formulasi pestisida, dan fasilitas farmasi menghasilkan berbagai bahan dengan komposisi yang bervariasi (Vardhan *et al.*, 2019). Sebagian besar bahan-bahan ini ditemukan dalam produk berbasis minyak bumi berpotensi berbahaya karena mengandung logam berat seperti kromium, timbal, dan seng (Das *et al.*,

2022). Kawasan sungai seringkali terjadi pencemaran logam berat yang berasal dari kawasan industri yang biasanya tidak melewati tahap pengolahan.

Dalam kegiatan penambangan, limbah berupa tailing seringkali dibuang langsung ke lahan di sekitar lokasi tambang. Biji timbal dan seng yang telah ditambang kemudian dilebur secara luas, yang menyebabkan polusi lingkungan dan risiko kesehatan manusia yang signifikan. Pada penambangan bukan logam, seperti batubara, proses penambangan menghasilkan limbah berupa air asam tambang. Air asam tambang terbentuk sebagai hasil oksidasi mineral sulfida tertentu yang terkandung dalam batuan oleh oksigen di udara pada lingkungan yang berair. Limbah AAT dicirikan oleh pH rendah dan konsentrasi SO_4^{2-} yang tinggi yang dapat melarutkan logam berat seperti Cu, Cd, Zn, Fe, Pb, dan Mn.

III. BENTUK-BENTUK LOGAM BERAT DALAM TANAH

Logam berat pada tanah hadir dalam berbagai bentuk meliputi faksi yang dapat dipertukarkan, karbonat, oksida Fe-Mn, organik, dan residu (Wei *et al.*, 2019) (Gambar 1). Selain itu, keadaan logam berat yang larut dalam air adalah keadaan di mana logam berat paling mudah diserap oleh tanaman. Keadaan yang dapat dipertukarkan adalah yang paling aktif dan paling mungkin menjadi larut dalam air. Koloid organik tanah memiliki muatan negatif yang dapat mengikat ion logam berat. Ion ini akan dipertukarkan dengan ion yang ada di dalam koloid organik tersebut seperti H^+ , Na^+ , K^+ , dll serta dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Rajendran *et al.*, 2019). Dalam kondisi pH yang berbeda, logam berat dalam keadaan terikat karbonat dapat bermigrasi, dan oksida Fe-Mn serta fraksi organik dapat dilepaskan dalam kondisi reduksi atau oksidasi. Sebaliknya, dalam keadaan residu, logam berat bersifat stabil dan sulit dilepaskan (Zhang *et al.*, 2020).



Gambar 1. Bentuk-bentuk logam berat dalam tanah dan tingkat ketersediaannya (Diadaptasi dari Alloway (2013); Sparks *et al.*, (2022))

IV. KONSEP REMEDIASI TANAH DAN MEKANISMENYA

Remediasi tanah terkontaminasi adalah penghilangan logam berat dari tanah yang terkontaminasi atau mengubah keberadaan logam berat di dalam tanah sehingga tidak lagi membahayakan kesehatan biologis, menghilangkan zat logam berat dari tanah, dan memulihkan fungsi produktif tanah (Lin *et al.*, 2022). Stabilisasi kimia atau sering juga disebut imobilisasi adalah salah satu upaya remediasi tanah yang melibatkan penambahan berbagai bahan ke tanah untuk mengurangi bioavailabilitas atau toksisitas logam berat dengan cara mengubah bentuk kimia logam berat menjadi senyawa yang lebih stabil dan kurang larut melalui serangkaian mekanisme gabungan seperti adsorpsi, pertukaran ion, presipitasi, dan kompleksasi/khelasi (Cui *et al.*, 2023) (Gambar 2)

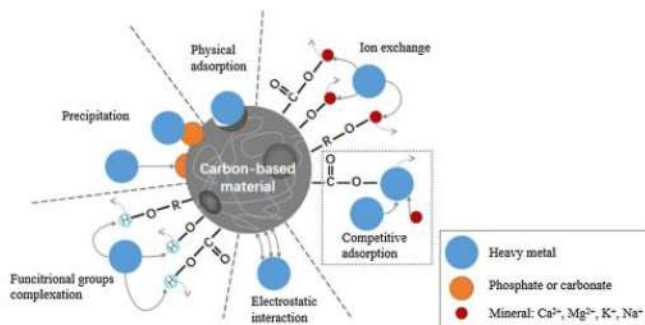


Fig. 1. Main Mechanisms of heavy metal by carbon-based materials.

Gambar 2. Mekanisme imobilisasi logam berat (Duan *et al.*, 2020)

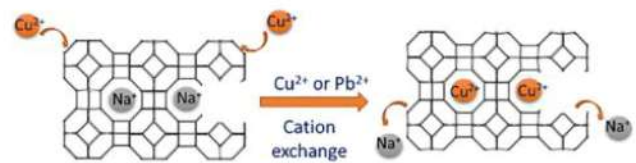
1. Adsorpsi

Adsorpsi merupakan proses di mana logam berat terikat pada permukaan adsorben (partikel tanah atau bahan remediasi). Proses ini melibatkan ikatan elektrostatis antara ion logam dengan muatan negatif permukaan tanah atau bahan remediasi. Adsorpsi fisik sangat dipengaruhi oleh distribusi ukuran pori dan luas permukaan adsorben. Proses adsorpsi membentuk lapisan adsorbat (ion logam) pada permukaan adsorben, tanpa membentuk ikatan kimia. Secara umum, tarikan elektrostatis menyebabkan polutan yang bermuatan teradsorpsi pada adsorben yang bermuatan berbeda (Raji *et al.*, 2023).

2. Pertukaran Ion

Pertukaran ion adalah jenis khusus dari adsorpsi yang melibatkan pertukaran ion bermuatan antara larutan dan padatan (biasanya partikel tanah atau adsorben berupa bahan amandemen) secara stoikiometris. Misalnya, ketika logam berat seperti Pb^{2+} masuk ke dalam tanah, logam tersebut dapat menggantikan ion-ion seperti Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , atau K^+ yang sebelumnya terikat pada muatan negatif tanah atau bahan amandemen. Reaksi ini bersifat

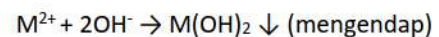
reversibel dan sangat dipengaruhi oleh kapasitas tukar kation (KPK) tanah, pH, serta keberadaan ion kompetitor. Mekanisme pertukaran ion ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Mekanisme pertukaran ion pada zeolit (Hong *et al.*, 2019)

3. Presipitasi

Presipitasi (pengendapan) adalah salah satu mekanisme penstabilan logam berat di tanah, di mana ion logam berat bereaksi dengan anion tertentu membentuk senyawa padat yang tidak larut dan cenderung mengendap. pH tanah dapat dinaikkan dengan menerapkan zat alkali seperti kapur atau material yang mengandung fosfor dan biji fosfat, yang dapat memudahkan logam berat terikat hidroksida atau karbonat, sehingga mobilitas dan toksisitasnya di dalam tanah berkurang. pH tanah yang tinggi akan meningkatkan pembentukan hidroksida logam dan membentuk endapan hidroksida. Mekanisme tersebut sesuai dengan reaksi berikut.



Pemberian karbonat atau bahan berbasis kalsium dapat membentuk endapan karbonat logam.



4. Kompleksasi

Kompleksasi merupakan proses pembentukan senyawa kompleks antara ion logam berat dengan ligan melalui ikatan koordinasi. Ligan ini diperankan oleh gugus fungsional yang sangat reaktif, seperti karboksil ($-COOH$), hidroksil ($-OH$), amina ($-NH_2$), dan gugus lain yang mampu berikatan dengan logam berat, membentuk senyawa kompleks yang lebih stabil dan kurang larut (Baby *et al.*, 2019). Bahan amandemen yang dapat melakukan mekanisme ini antara lain bahan amandemen organik (kompos, pupuk kandang, biochar) dan bahan berbasis polimer (Lwin *et al.*, 2018).

V. BAHAN AMANDEMENTAN TANAH UNTUK STABILISASI KIMIA

1. Amandemen Organik

Bahan organik yang umum digunakan tersedia dalam berbagai bentuk, seperti asam humat, biochar, dan pupuk kandang. Menurut Lwin *et al.*, (2018), penggunaan amandemen organik memiliki dua

kelebihan, yaitu biaya yang relatif rendah dan memudahkan revegetasi tanah yang terkontaminasi. Biochar merupakan bahan kaya karbon yang dapat diproduksi dari berbagai bahan baku organik, seperti kayu, jerami, dan pupuk kandang pada suhu tinggi (>300°C) dengan kondisi terbatas oksigen. Biochar memiliki sifat yang berbeda-beda tergantung pada jenis bahan baku dan kondisi pirolisis yang digunakan. Akibatnya, efek biochar pada sifat tanah dan imobilisasi logam berat cukup bervariasi.

Proses adsorpsi bergantung pada sifat permukaan dan struktur pori material karbon serta sifat logam berat. Amandemen organik memiliki struktur yang kompleks dan mengandung berbagai gugus fungsi aktif, seperti gugus karboksil (-COOH) dan gugus hidroksil (-OH), dan gugus lainnya yang mengandung oksigen, serta struktur aromatik, dan struktur alifatik, yang berpengaruh penting terhadap transformasi dan migrasi logam berat di dalam tanah serta bioavailabilitasnya, serta dapat memperbaiki sifat-sifat tanah (Hu *et al.*, 2020).

2. Kapur

Pengapuran memiliki tujuan utama untuk memperbaiki kemasaman tanah, namun saat ini semakin banyak digunakan sebagai alat pengelolaan untuk mengurangi toksisitas logam berat dalam tanah. Bahan pengapuran yang banyak digunakan dan tersedia secara umum antara lain kapur, batu kapur, kalsium karbonat, dolomit, dan zat alkali lainnya. Pengapuran dapat memulihkan tanah yang terkontaminasi logam berat dengan meningkatkan pH tanah dan membentuk fase logam yang stabil untuk melumpuhkan logam. Selain itu, secara tidak langsung, peningkatan pH akan mendorong peningkatan mobilitas unsur hara esensial, seperti Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), dan Magnesium (Mg) serta meningkatkan efektivitas penyerapannya oleh tanaman (Jia *et al.*, 2024).

3. Mineral Lempung

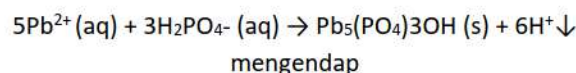
Material lempung banyak digunakan dalam remediasi tanah karena berbiaya rendah dan memberikan hasil yang efektif (Otunola & Ololade, 2020). Material lempung yang umum digunakan untuk remediasi tanah yang terkontaminasi logam berat antara lain bentonit, kaolinit, zeolit, dan montmorillonit (Lan *et al.*, 2020). Menurut Gu *et al.* (2019), lapisan struktural pada mineral lempung terdiri dari kation anorganik yang dapat dipertukarkan, dengan beberapa elektron atom oksigen terekspos pada permukaan kristal. Struktur ini menyebabkan mineral lempung memiliki kapasitas pertukaran ion yang tinggi dan kapasitas penyerapan yang kuat. Ion logam dapat memasuki lapisan mineral lempung untuk pertukaran ion, membentuk kompleks

yang stabil, dan menurunkan resiko pencemaran pada tanah.

Zeolit memiliki banyak rongga dan luas permukaan spesifik yang tinggi yang memungkinkan kemampuan zeolit untuk pertukaran ion dan adsorpsi molekul. Zeolit memiliki kapasitas tukar kation yang tinggi, sehingga mampu menukar kation asli pada zeolit (Na, K, Ca, Mg) dengan ion logam berat di dalam tanah (Gambar 2). Proses ini mampu meningkatkan kation tersedia pada tanah dan kesuburan tanah. Proses pertukaran kation didorong oleh tarikan elektrostatis antara kerangka zeolit yang bermuatan negatif dengan ion logam berat bermuatan positif. Zeolit dapat secara fisik mengadsorpsi logam berat ke permukaannya karena luas permukaannya yang besar dan strukturnya yang berpori. Tingginya luas permukaan dan banyaknya muatan negatif yang dimiliki oleh zeolit secara nyata mampu meningkatkan KTK tanah.

4. Senyawa Fosfat

Amandemen yang mengandung fosfor dapat mengimobilisasi logam berat dalam tanah, sehingga mobilitas dan penyerapannya oleh tanaman dan manusia dapat dibatasi. Banyak jenis amandemen fosfor yang digunakan untuk remediasi tanah, seperti apatit, batuan fosfat, garam berbasis fosfat, Diammonium fosfat (DAP), dan asam fosfat. Sebagian besar senyawa fosfat digunakan untuk melumpuhkan logam seperti Cd, Cu, Pb, dan Zn dengan mengurangi bioavailabilitasnya. Senyawa fosfat mampu meningkatkan imobilisasi logam melalui penyerapan/substitusi logam oleh senyawa P, penyerapan logam yang diinduksi anion P, dan presipitasi sebagai logam-fosfat. Presipitasi sebagai logam-P telah terbukti menjadi salah satu mekanisme utama untuk imobilisasi logam.



VI. PEMANFAATAN BAHAN AMANDEMEN TANAH DI INDONESIA

Pemanfaatan bahan amandemen untuk remediasi tanah tercemar logam berat di Indonesia berkembang seiring dengan meningkatnya kebutuhan rehabilitasi lahan bekas tambang dan perbaikan kualitas lahan pertanian. Beberapa penelitian mengenai pemanfaatan sumber daya biomassa lokal untuk remediasi tanah tercemar logam berat di Indonesia telah dilakukan. Selain mampu menurunkan ketersediaan logam berat, bahan-bahan tersebut juga dapat memperbaiki sifat kimia

tanah seperti pH, KTK, dan kandungan bahan organik sehingga mendukung pertumbuhan tanaman.

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa biochar mampu menstabilkan logam berat pada tanah tercemar sekaligus memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah (Hidayat, 2015). Penelitian Subarkhah dan Titah (2023) secara spesifik menunjukkan bahwa kombinasi biochar sekam padi dan tongkol jagung efektif menurunkan konsentrasi Pb pada tanah tercemar melalui mekanisme adsorpsi permukaan dan kompleksasi gugus fungsi aktif. Sementara itu, zeolit alam telah diteliti sebagai bahan pembenah tanah berbiaya rendah. Pada lahan pasca-tambang, pemberian zeolit dengan dosis 20 ton ha⁻¹ terbukti nyata meningkatkan pH, KTK, serta C-organik, yang secara tidak langsung mendukung imobilisasi logam berat (Nursanti & Kemala, 2019). Pada skala yang lebih luas, Dewi *et al.*, (2022) melaporkan penerapan kombinasi biochar dan kompos untuk pemulihan lahan pertanian bawang merah yang tercemar Pb, Cd, Ni, dan Cr. Hasilnya, konsentrasi logam berat tersebut menurun secara nyata dan populasi total bakteri tanah meningkat. Perkembangan ini menunjukkan arah yang menjanjikan menuju penerapan lapangan yang lebih luas, terutama dengan dukungan ketersediaan bahan baku lokal yang berlimpah dan biaya produksi yang relatif terjangkau.

VII. PENUTUP

Pencemaran logam berat pada tanah, yang berasal dari aktivitas alami maupun antropogenik seperti pertambangan, industri, dan penggunaan pupuk/pestisida telah menjadi masalah lingkungan global yang mengancam ekosistem, produktivitas pertanian, dan kesehatan manusia. Teknik stabilisasi kimia, melalui mekanisme seperti adsorpsi, presipitasi, dan kompleksasi, terbukti efektif dalam mengurangi mobilitas dan bioavailabilitas logam berat dengan mengubahnya menjadi bentuk yang kurang larut dan lebih stabil. Bahan amandemen seperti biochar, kapur, zeolit, dan batuan fosfat tidak hanya menurunkan toksisitas logam tetapi juga memperbaiki sifat fisika-kimia tanah, meskipun efektivitas jangka panjangnya perlu dipantau karena potensi pelepasan logam kembali akibat perubahan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, pendekatan terpadu yang menggabungkan pemilihan bahan amandemen sesuai jenis kontaminan, pengaturan dosis optimal, dan pemantauan berkala diperlukan untuk memastikan remediasi yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustine, L., Sudirja, R., & Harryanto, R. 2022. Analisis N Total dan Kandungan Logam Berat Cu dan Zn pada Tanah Sawah di Daerah Pengairan Sungai Cikijing Kecamatan Rancaekek. *Jurnal Ilmiah Teknologi Pertanian Agrotechno*, 7(1), 47-55.
- Alengebaw, A., Abdelkhalek, S.T., Qureshi, S.R. and Wang, M.Q. 2021. Heavy metals and pesticides toxicity in agricultural soil and plants: Ecological risks and human health implications. *Toxics*, 9(3), p.42.
- Alloway, B. J. 2013. Sources of heavy metals and metalloids in soils. In *Heavy metals in soils: trace metals and metalloids in soils and their bioavailability* (pp. 11-50). Dordrecht: Springer Netherlands.
- Baby, R., Saifullah, B. and Hussein, M.Z. 2019. Palm Kernel Shell as an effective adsorbent for the treatment of heavy metal contaminated water. *Scientific Reports*, 9(1), p.18955.
- Cui, W., Li, X., Duan, W., Xie, M. and Dong, X. 2023. Heavy Metal Stabilization Remediation in Polluted Soils with Stabilizing Materials: a Review. *Environmental Geochemistry and Health*, 45(7), pp.4127-4163.
- Lin, H., Wang, Z., Liu, C. and Dong, Y., 2022. Technologies for removing heavy metal from contaminated soils on farmland: A review. *Chemosphere*, 305, p.135457.
- Das, O., Babu, K., Shanmugam, V., Sykam, K., Tebyetekerwa, M., Neisiany, R.E., Försth, M., Sas, G., Gonzalez-Libreros, J., Capezza, A.J. and Hedenqvist, M.S. 2022. Natural and industrial wastes for sustainable and renewable polymer composites. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 158, p.112054.
- Dewi, T., Martono, E., Hanudin, E., & Harini, R. 2022, November. Impact of agrochemicals application on lead and cadmium concentrations in shallot fields and their remediation with biochar, compost, and botanical pesticides. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1109, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.
- Duan, C., Ma, T., Wang, J. and Zhou, Y. 2020. Removal of heavy metals from aqueous solution using carbon-based adsorbents: A review. *Journal of Water Process Engineering*, 37, p.101339.
- Gu, S., Kang, X., Wang, L., Lichtfouse, E. and Wang, C. 2019. Clay mineral adsorbents for heavy metal removal from wastewater: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 17, pp.629-654.
- Handayani, C. O., Sukarjo, S., & Dewi, T. 2022. Penilaian tingkat cemaran logam berat pada lahan pertanian di hulu sungai Citarum, Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 508-516.
- Hidayat, B. 2015. Remediasi tanah tercemar logam berat dengan menggunakan biochar. *Jurnal Online Pertanian Tropik*, 2(1), 51-61.
- Hong, M., Yu, L., Wang, Y., Zhang, J., Chen, Z., Dong, L., Zan, Q. and Li, R. 2019. Heavy metal adsorption with zeolites: The role of hierarchical pore architecture. *Chemical Engineering Journal*, 359, pp.363-372.
- Hu, M.L., Zeng, H.P., Dong, D.C., Luo, Y., & Wang, Y. 2020. Humic Substances Amendments for Improving

- Phytoremediation of Heavy Metal Polluted Soils: A Review. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 36(3), pp.273-280.
- Jia, M., Wang, Y., Zhang, Q., Lin, S., Zhang, Q., Chen, Y., ... & Wang, H. 2024. Effect of soil pH on the uptake of essential elements by tea plant and subsequent impact on growth and leaf quality. *Agronomy*, 14(6), 1338.
- Kumar, V., Sharma, A., Kaur, P., Singh Sidhu, G.P., Bali, A.S., Bhardwaj, R., Thukral, A.K., Cerda, A. 2019. Pollution assessment of heavy metals in soils of India and ecological risk assessment: A state-of-the-art. *Chemosphere*, 216, 449–462.
- Lan, M.M., Liu, C., Liu, S.J., Qiu, R.L. and Tang, Y.T. 2020. Phytostabilization of Cd and Pb in highly polluted farmland soils using ramie and amendments. *International journal of environmental research and public health*, 17(5), p.1661.
- Lin, H., Wang, Z., Liu, C., & Dong, Y. 2022. Technologies for removing heavy metal from contaminated soils on farmland: A review. *Chemosphere*, 305, 135457.
- Lwin, C.S., Seo, B.H., Kim, H.U., Owens, G. and Kim, K.R. 2018. Application of soil amendments to contaminated soils for heavy metal immobilization and improved soil quality—A critical review. *Soil science and plant nutrition*, 64(2), pp.156-167.
- Nursanti, I., & Kemala, N. 2019. Peranan zeolit dalam peningkatan kesuburan tanah pasca penambangan. *Jurnal Media Pertanian*, 4(2), 88-91.
- Otunola, B.O. and Ololade, O.O. 2020. A review on the application of clay minerals as heavy metal adsorbents for remediation purposes. *Environmental Technology & Innovation*, 18, p.100692.
- Rahman, Z. and Singh, V.P. 2019. The relative impact of toxic heavy metals (THMs)(arsenic (As), cadmium (Cd), chromium (Cr)(VI), mercury (Hg), and lead (Pb)) on the total environment: an overview. *Environmental monitoring and assessment*, 191, pp.1-21.
- Rajendran, M., Shi, L., Wu, C., Li, W., An, W., Liu, Z. and Xue, S. 2019. Effect of sulfur and sulfur-iron modified biochar on cadmium availability and transfer in the soil–rice system. *Chemosphere*, 222, pp.314-322.
- Raji, Z., Karim, A., Karam, A. and Khalloufi, S. 2023. Adsorption of heavy metals: mechanisms, kinetics, and applications of various adsorbents in wastewater remediation—a review. In *Waste* (Vol. 1, No. 3, pp. 775-805). MDPI.
- Rashid, A., Schutte, B.J., Ulery, A., Deyholos, M.K., Sanogo, S., Lehnhoff, E.A. and Beck, L. 2023. Heavy metal contamination in agricultural soil: environmental pollutants affecting crop health. *Agronomy*, 13(6), p.1521.
- Sparks, D. L., Singh, B., & Siebecker, M. G. 2022. Environmental soil chemistry. Elsevier.
- Subarkhah, M. J., & Titah, H. S. 2023. Remediasi Logam Berat Pb dengan Menggunakan Biochar Sekam Padi dan Tongkol Jagung. *Jurnal Teknik ITS*, 12(1), F48-F53.
- Tambunan, S. L. B., Adam, D. H., Dalimunthe, B. A., & Septyani, I. A. P. 2025, July. Bioakumulasi Logam Cu dan Pb Pada Tanah Sawah. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Komputer dan Sains* (Vol. 3, No. 1, pp. 260-265).
- Vardhan, K.H., Kumar, P.S. and Panda, R.C. 2019. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, 290, p.111197.
- Wei, J., Duan, M., Li, Y., Nwankwegu, A.S., Ji, Y. and Zhang, J. 2019. Concentration and pollution assessment of heavy metals within surface sediments of the Raohe Basin, China. *Scientific reports*, 9(1), p.13100.
- Yadav, M., George, N. and Dwibedi, V. 2023. Emergence of toxic trace elements in plant environment: Insights into potential of silica nanoparticles for mitigation of metal toxicity in plants. *Environmental Pollution*, 333, p.122112.
- Zhang, D., Xu, Y., Li, X., Wang, L., He, X., Ma, Y. and Zou, D. 2020. The immobilization effect of natural mineral materials on Cr (VI) remediation in water and soil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8), p.2832.

Land-Based Climate Governance Dalam Penguatan Kebijakan Lahan Pertanian Berkelanjutan

Riska Nurhafizhah, Abdul Aziz, Joko Mulyono, Wahida

Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian, Kementerian Pertanian

E-mail: riskanurhafizhah@gmail.com

RINGKASAN

Indonesia menghadapi tantangan ganda dalam tata Kelola lahan sawah: menjamin ketahanan pangan melalui Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B) sekaligus memenuhi komitmen mitigasi perubahan iklim melalui Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK). Kedua kebijakan ini beroperasi secara fragmentatif tanpa unit analisis bersama, sehingga menghasilkan *policy negation* yang melemahkan efektivitas keduanya. Kegiatan analisis ini bertujuan mengembangkan kerangka konseptual *land-based climate governance* sebagai pendekatan integratif yang menempatkan lahan sawah sebagai unit analisis utama dalam menyatukan dimensi spasial, produksi, dan mitigasi emisi. Metode yang digunakan adalah analisis kebijakan komparatif dengan pendekatan *integrated policy coding matrix* terhadap regulasi LP2B dan RAN-GRK, didukung kajian literatur tentang praktik *Climate-Smart Agriculture* (CSA) dan pengalaman internasional. Hasil analisis mengidentifikasi empat lapisan kegagalan sistemik: ketidakselarasan tujuan (*incoherent goals*), fragmentasi kelembagaan, ketidaksesuaian instrumen kebijakan, serta ketiadaan sistem *measurement, reporting, and verification* (MRV) berbasis lahan. Kerangka yang diusulkan mengintegrasikan peta LP2B sebagai basis spasial, standar CSA, termasuk teknik *Alternate Wetting and Drying* (AWD) sebagai instrumen operasional, sistem MRV berbasis *plot-level accounting* sebagai fondasi akuntabilitas, serta skema Nilai Ekonomi Karbon (NEK) sebagai mekanisme insentif berbasis kinerja. Transformasi ini menggeser paradigma kebijakan dari *administrative compliance* menuju *result-based governance* yang terukur dan dapat diverifikasi. Analisis ini berkontribusi pada pengisian kesenjangan konseptual dalam literatur integrasi kebijakan pertanian dan iklim, sekaligus menawarkan implikasi praktis bagi penguatan koherensi kebijakan lahan di Indonesia dalam rangka pencapaian target NDC dan *net zero emission* 2060.

II. PENDAHULUAN

Indonesia menghadapi tekanan ganda, di satu sisi terdapat kebutuhan menjaga ketahanan pangan, dan di sisi lainnya ada kewajiban menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK). Kedua tantangan ini bertumpu pada satu sumber daya yang sama, lahan sawah, namun dikelola oleh dua rezim kebijakan yang berjalan sendiri-sendiri. Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan (LP2B) dirancang untuk mencegah alih fungsi sawah demi menjamin produksi pangan jangka panjang, sementara Rencana Aksi Nasional

Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK) berupaya menekan emisi sektor pertanian melalui pendekatan berbasis program. Masalahnya, keduanya tidak saling terintegrasi meskipun memiliki akar masalah yang beririsan. Alih fungsi lahan pertanian di Indonesia didorong oleh rendahnya pendapatan petani dan tekanan ekonomi (Wati *et al.*, 2025), sementara upaya perlindungan lahan demi ketahanan pangan justru menciptakan paradoks karena sistem produksi pertanian itu sendiri berkontribusi signifikan terhadap emisi GRK di tengah perubahan iklim yang semakin ekstrem. LP2B tidak mengatur praktik budidaya yang menghasilkan emisi, dan RAN-GRK tidak memiliki keterikatan spasial dengan lahan sebagai tempat terjadinya emisi (Aziz *et al.*, 2025; Suryani *et al.*, 2023; Kusumastuti *et al.*, 2018).

Kondisi ini bukan sekadar soal administratif. Lahan baku sawah nasional menyusut 79,6 ribu hektare selama 2019–2024 (Sekretariat Negera, 2011), sementara luas panen padi turun dari 10,66 juta hektare (2020) menjadi 10,05 juta hektare (2024) dan produksi padi melorot 2,45 persen menjadi 52,66 juta ton GKG (BPS, 2024). Di sisi lain, emisi GRK sektor pertanian justru meningkat dari 109,65 juta ton CO₂-eq (2021) menjadi 89,20 juta ton CO₂-eq (2022) dengan dominasi emisi metana (CH₄) dari lahan sawah tergenang hingga sekitar 69 persen dari total emisi pertanian (KLHK, 2024; KLHK, 2022).

Ketidaksinkronan data alih fungsi lahan antar kementerian/lembaga mulai dari estimasi 100 ribu hingga 15 ribu hektare per tahun semakin mencerminkan fragmentasi kebijakan yang memperlemah pengendalian konversi lahan, sehingga penyusutan tetap berlangsung pada luas sawah nasional yang hanya sekitar 7,3 juta hektare (Affan, 2026; Mulyana, 2025; Prihatini & Jatmiko, 2025). Inkonsistensi implementasi LP2B termasuk Perpres No. 4 Tahun 2026, tercermin dari disparitas penetapan luas lahan antara RTRW ($\pm 5,5$ juta ha), Perda LP2B ($\pm 2,6$ juta ha), dan Perkada ($\pm 3,1$ juta ha) (Sari & Hidayat, 2025; Suryani *et al.*, 2023). Paradoks ini mencerminkan kegagalan sistemik dalam integrasi kebijakan yang mengakibatkan dua tujuan strategis: ketahanan pangan dan mitigasi iklim tidak tercapai secara optimal.

Di tingkat global, Indonesia melalui *Enhanced NDC* 2022 (*Nationally Determined Contribution*) menargetkan penurunan emisi sebesar 31,89 persen secara mandiri dan 43,20 persen dengan dukungan internasional pada tahun 2030, dengan visi *net zero emission* (NZE) pada 2060 (KLHK,

2024). Sektor pertanian berkontribusi sekitar 0,3–0,4 persen dari total target NDC, namun pendekatan yang digunakan saat ini berbasis penghitungan anggaran (*budget tagging*) di mana tidak menghasilkan data penurunan emisi yang dapat diverifikasi sehingga tidak memenuhi standar untuk memanfaatkan skema Nilai Ekonomi Karbon (NEK) berdasarkan Perpres 98/2021 (Aziz *et al.*, 2025). Selain itu, berbagai negara telah mengembangkan pendekatan integrasi tata kelola lahan dan mitigasi iklim, seperti *Common Agricultural Policy* (CAP) di Uni Eropa dan *Emissions Reduction Fund* (ERF) di Australia, namun Indonesia masih menghadapi kesenjangan konseptual berupa absennya kerangka integratif yang mampu menyatukan dimensi spasial, produksi, dan emisi dalam satu sistem kebijakan yang koheren dan terkoordinasi lintas sektor (Aisyah, 2023; Balogh, 2023).

Pengembangan kerangka konseptual *land-based climate governance* sebagai pendekatan integratif yang menjembatani dualisme kebijakan perlindungan lahan pertanian (LP2B) dan mitigasi perubahan iklim (RAN-GRK), dengan menempatkan lahan sebagai unit analisis utama merupakan kebaruan dari kegiatan ini. Berbeda dengan studi-studi terdahulu yang cenderung mengkaji kebijakan pertanian dan iklim secara sektoral maupun berbasis program, kegiatan analisis ini menawarkan integrasi tiga dimensi kunci, yaitu: (1) spasial (perlindungan lahan), (2) produksi (praktik budidaya), dan (3) emisi (mitigasi GRK), dalam satu sistem kebijakan yang terukur melalui pendekatan *measurement, reporting, and verification* (MRV) berbasis lahan. Lebih lanjut, kegiatan ini secara eksplisit mengaitkan tata kelola lahan dengan skema NEK, sehingga berkontribusi pada penguatan koherensi kebijakan, dan membuka peluang insentif ekonomi berbasis kinerja lingkungan. Dengan demikian, kegiatan ini mengisi kesenjangan konseptual dalam literatur yang ada sekaligus menawarkan implikasi praktis sebagai pertimbangan dalam tata kelola kebijakan pertanian dan perubahan iklim di Indonesia.

II. DUALISME KEBIJAKAN: KETIKA PERLINDUNGAN LAHAN DAN MITIGASI EMISI BERJALAN SENDIRI-SENDIRI

LP2B yang diatur dalam Undang-Undang Nomor 41 Tahun 2009 dan diperkuat Peraturan Presiden Nomor 4 Tahun 2026 telah menetapkan 87 persen dari total Lahan Baku Sawah (LBS) seluas 7,38 juta hektare sebagai kawasan yang tidak boleh dialihfungsikan (BPN Simalungun, 2025). Angka ini terlihat ambisius, namun implementasinya jauh dari memadai. Hingga 2023, hanya 35,2% daerah yang memiliki Peraturan Daerah (Perda) LP2B, dan dari yang ada, hanya 25,1% yang dilengkapi data spasial operasional (Sari & Hidayat, 2025). Artinya, sebagian besar wilayah Indonesia tidak memiliki dasar hukum yang memadai untuk menindak

pelanggaran alih fungsi lahan, sehingga perlindungan lahan hanya bersifat deklaratif. Lebih jauh, LP2B tidak mengatur sama sekali bagaimana lahan yang dilindungi tersebut dikelola. Praktik intensifikasi padi seperti penggunaan pupuk kimia berlebihan dan sistem irigasi tergenang terus-menerus tetap berjalan tanpa hambatan di atas lahan LP2B. Padahal, sistem irigasi tergenang justru menjadi sumber utama emisi metana dari sawah (Pramono *et al.*, 2018; Setyanto *et al.*, 2018). LP2B melindungi lahan dari alih fungsi, tetapi tidak melindungi iklim dari dampak pengelolaan lahan yang tidak ramah lingkungan.

Kemudian, RAN-GRK yang diatur melalui Perpres No. 61 Tahun 2011 menetapkan strategi mitigasi emisi sektor pertanian melalui optimalisasi sumber daya lahan, penerapan teknologi budidaya rendah emisi, dan efisiensi irigasi. Capaian penurunan emisi pertanian periode 2019–2023 bahkan dilaporkan melampaui target NDC. Namun, angka ini tidak dapat dimanfaatkan dalam skema NEK karena tidak memenuhi standar pengukuran, pelaporan, dan verifikasi (MRV) yang mensyaratkan data berbasis lokasi dan aktivitas aktual. Masalah mendasarnya adalah pendekatan *budget tagging*: penurunan emisi dihitung dari besaran anggaran yang dialokasikan untuk program-program berlabel "mitigasi", bukan dari pengukuran emisi aktual di lahan. Pendekatan ini menghasilkan celah kredibilitas (*credibility gap*) yang serius, klaim kebijakan tidak dapat divalidasi secara ilmiah. Akibatnya, sektor pertanian kehilangan peluang untuk mengakses pendanaan iklim internasional maupun insentif karbon domestik melalui skema NEK (Aziz *et al.*, 2025).

Tabel 1. Matriks Koherensi Kebijakan LP2B dan RAN-GRK

Dimensi	LP2B	RAN-GRK
Tujuan Utama	Perlindungan lahan sawah dari alih fungsi	Penurunan emisi GRK sektor pertanian
Unit Analisis	Lahan (spasial)	Program/anggaran (<i>budget tagging</i>)
Instrumen	Regulasi tata ruang dan zonasi	Rencana aksi sektoral berbasis kegiatan
Indikator Kinerja	Luas lahan terlindungi (ha)	Penurunan emisi (Gg CO ₂ -eq)
Aktor Utama	Kementan, ATR/BPN, Pemda	Bappenas, KLHK, Kementan
Basis Data	Peta LP2B, RTRW, LSD	Budget tagging APBN, laporan program
Sistem MRV	Belum berbasis lahan (plot-level)	Berbasis kegiatan, bukan emisi aktual
Keterkaitan NEK	Belum terintegrasi	Belum memenuhi standar MRV untuk NEK
Tantangan Utama	Rendahnya kelengkapan Perda LP2B (35,2%) dan data spasial	Pendekatan program-based tidak mengukur emisi aktual

Sumber: (Aziz *et al.*, 2025; Bappenas, 2025; Sari & Hidayat, 2025)

Inti dari fragmentasi kebijakan ini adalah ketiadaan unit analisis bersama. LP2B berorientasi pada dimensi spasial menyangkut berapa hektare lahan yang dilindungi, sementara RAN-GRK berorientasi pada dimensi programatik menyangkut kegiatan apa yang dilakukan dan berapa anggarannya. Belum ada mekanisme yang menghubungkan keduanya pada level lahan (*plot-level*). Implikasinya terlihat pada intervensi mitigasi tidak diarahkan ke lokasi spesifik penghasil emisi, seperti sawah irigasi dengan emisi metana tinggi, dan pengelolaan lahan tidak mempertimbangkan indikator emisi sebagai dasar pengambilan kebijakan. Dua kebijakan dengan tujuan strategis yang saling melengkapi justru berjalan dalam silo yang saling menegasikan.

Fragmentasi kebijakan LP2B dan RAN-GRK diperparah oleh krisis data spasial yang bersifat kronis. Peta Lahan Sawah yang Dilindungi (LSD) yang ditetapkan melalui Kepmen ATR/BPN No. 1589/2021 seharusnya menjadi acuan tunggal bagi daerah dalam perencanaan tata ruang. Namun, masih ditemukan ketidaksesuaian antara LSD dan RTRW di tingkat daerah yang menghambat pelayanan pertanahan dan menciptakan ketidakpastian pemanfaatan ruang (Rahmadi, 2025). Dari sisi cakupan regulasi, RTRW relatif lebih maju dengan 361 kabupaten/kota (71,1%) yang sudah menetapkan, namun hanya 23,6 persen yang dilengkapi data spasial. LP2B sedikit lebih baik dalam kualitas spasial (25,1%), tetapi baru mencakup 35,2 persen daerah. Peraturan Kepala Daerah (Perkada) menunjukkan kualitas data spasial tertinggi (86,2%), tetapi dengan cakupan wilayah terbatas (Sari & Hidayat, 2025). Ketimpangan ini mencerminkan paradoks implementasi: instrumen yang memiliki data paling baik justru belum menjangkau seluruh wilayah, sementara instrumen dengan jangkauan luas tidak didukung data yang memadai.

Dampak terbesar dari krisis ini adalah ketidakmampuan mengembangkan sistem MRV berbasis lahan. Tanpa *single geospatial reference* yang terintegrasi hingga level plot, tidak ada cara untuk mengukur emisi aktual dari setiap unit lahan, memantau dampak intervensi mitigasi secara spasial, maupun membangun baseline karbon yang kredibel untuk skema NEK. Maka, kondisi ini bukan sekadar persoalan teknis, melainkan hambatan struktural yang membuat seluruh arsitektur kebijakan iklim di sektor pertanian berdiri di atas fondasi yang rapuh.

III. PERTANIAN CERDAS IKLIM: JEMBATAN ANTARA SAWAH TERLINDUNGI DAN EMISI TERKENDALI

Pendekatan pertanian cerdas iklim atau *Climate-Smart Agriculture* (CSA) menawarkan kerangka operasional yang mampu menjembatani dualisme LP2B dan RAN-GRK

secara konkret. CSA tidak sekadar konsep, melainkan seperangkat praktik budidaya yang secara simultan meningkatkan produktivitas, memperkuat ketahanan petani terhadap perubahan iklim, dan menekan emisi GRK (FAO, 2013; Humaira, 2022).

Salah satu praktik CSA yang paling terbukti efektif di lahan sawah adalah teknik *Alternate Wetting and Drying* (AWD), pengairan berselang yang menggantikan sistem tergenang terus-menerus. Hasil kajian di Balai Penelitian Lingkungan Pertanian menunjukkan bahwa AWD mampu menekan emisi GRK hingga 33–41 persen dibandingkan kondisi tergenang, sekaligus menghemat air irigasi 23–27 persen, tanpa mengurangi hasil panen secara signifikan (Pramono *et al.*, 2018). Implementasi AWD telah dicoba di kelompok tani binaan Rikolto di Klaten dan Solo dengan hasil yang menjanjikan, membuktikan bahwa intervensi berbasis lahan ini layak secara teknis dan dapat diadopsi petani (Aziz *et al.*, 2025).

Selain AWD, praktik CSA mencakup penggunaan varietas padi rendah emisi, efisiensi pemupukan untuk menekan emisi N₂O, dan penyesuaian pola tanam dengan kalender iklim. Yang terpenting, semua praktik ini bersifat terukur dan dapat diverifikasi di tingkat lahan menjadikannya fondasi ideal untuk pengembangan sistem MRV berbasis plot. Dengan mengintegrasikan CSA ke dalam kawasan LP2B, lahan yang semula hanya "dilindungi secara administratif" bertransformasi menjadi lahan yang "dilindungi sekaligus dikelola secara rendah emisi".

IV. LAND BASED CLIMATE GOVERNANCE: KERANGKA INTEGRATIF YANG DITAWARKAN

Persoalan utama dalam tata kelola lahan pertanian tidak semata terletak pada perbedaan antara kebijakan perlindungan lahan (LP2B) dan mitigasi perubahan iklim (RAN-GRK), melainkan pada adanya kegagalan sistemik dalam integrasi kebijakan (*systemic policy integration failure*). Kegagalan ini tercermin dari tidakselarasan tujuan (*incoherent goals*) antara ketahanan pangan dan penurunan emisi, fragmentasi kelembagaan (*fragmented governance*) yang ditandai oleh kuatnya ego sektoral antar aktor, ketidaksesuaian instrumen kebijakan (*instrument mismatch*) antara pendekatan regulatif dan programatik, serta kesenjangan data dan sistem *measurement, reporting, and verification* (MRV) yang belum berbasis spasial dan belum kredibel untuk mendukung skema Nilai Ekonomi Karbon (NEK). Kondisi tersebut mengakibatkan kebijakan berjalan dalam policy silo, tidak memiliki unit analisis bersama, serta menghasilkan *inefficient policy outcome*, bahkan cenderung saling menegasikan (*policy negation*) (Tabel 2).

Warta Sumber Daya Lahan Pertanian

Tabel 2. *Integrated Policy Coding Matrix: LP2B vs RAN-GRK*

Dimensi/ Kategori	Indikator/Sub- Kode	LP2B	RAN-GRK	Kode	Isi Dokumen	Temuan & makna Analitis
Tujuan	Sinkronisasi tujuan	Perlindungan lahan pertanian (luas baku sawah)	Penurunan emisi GRK (NDC dan <i>Net Zero</i>)	<i>Incoherent</i>	Target swasembada pangan berhadapan dengan target penurunan emisi	Ketidakkonsistenan struktural yang menciptakan <i>trade-off</i> antara produksi dan mitigasi emisi
Fokus	Orientasi kebijakan	Ketahanan pangan	Mitigasi perubahan iklim	<i>Incoherent</i>	Produksi beras <i>versus</i> pengurangan emisi	Dualisme orientasi sektoral (<i>food security vs climate mitigation</i>)
Instrumen Kebijakan	Regulasi vs program	RTRW, Perda LP2B, dan LSD	<i>Budget tagging</i> dan aksi mitigasi GRK	<i>Partial</i>	Capaian berbasis regulasi dan anggaran	Ketidaksesuaian instrumen (regulatif vs programatik)
Basis Intervensi	Unit analisis	Berbasis spasial (lahan)	<i>Berbasis aktivitas/progr am</i>	<i>Incoherent</i>	Program tidak berbasis lokasi	Tidak terdapat unit analisis yang sama (<i>common unit of analysis</i>)
Implementasi	Koordinasi aktor	Kementan, ATR/BPN, dan Pemerintah Daerah	KLHK, Bappenas, dan K/L sektoral	<i>Fragmented</i>	Ego sektoral antar kementerian	Terjadi <i>policy silo</i> dan lemahnya koordinasi lintas sektor
Kelembagaan	Aktor dan kewenangan	Tata kelola multilevel (pusat–daerah)	Tata kelola sektoral berbasis emisi	<i>Fragmented</i>	Kementan, KLHK, dan ATR/BPN bekerja terpisah	Fragmentasi tata Kelola kebijakan
Sistem Data dan MRV	Basis data dan monitoring	Belum operasional secara spasial	Monitoring agregatif dan non-spasial	<i>Fragmented</i>	Tidak tersedia referensi geospasial tunggal	Kesenjangan data spasial dan sistem MRV
Koherensi Vertikal	Sinkronisasi Pusat–daerah	Lemah (RTRW–Perda–Perkada belum selaras)	Relatif kuat melalui turunan NDC	<i>Partial</i>	Inkonsistensi regulasi daerah	Implementasi LP2B belum optimal
Koherensi Horizontal	Integrasi lintas sektor	Tidak terhubung dengan mitigasi	Tidak terhubung dengan tata ruang	<i>Incoherent</i>	Kebijakan berjalan secara sektoral	Permasalahan utama integrasi kebijakan
Perlindungan Lahan	LP2B, zonasi dan LSD	Penetapan ±6,39 juta ha	Tidak diatur secara spesifik	-	Perlindungan lahan sawah	Perlindungan aset tanpa tata kelola ekologis
Alih Fungsi Lahan	Konversi dan tekanan ekonomi	Belum terkendali secara optimal	Bukan fokus utama	-	Alih fungsi sekitar 96.512 ha/tahun	Faktor pendorong krisis pangan dan peningkatan emisi
Emisi GRK	CH ₄ dan mitigasi sawah	Tidak diatur secara langsung	Fokus utama	-	Emisi metana mendominasi sektor pertanian	Lahan sawah menjadi <i>hotspot</i> emisi
Ketahanan Pangan	Produksi dan luas panen	Fokus utama	Tidak menjadi fokus langsung	-	Penurunan luas panen	Indikasi ketahanan pangan yang rentan
Mitigasi Iklim	<i>NDC dan Net Zero Emission Target</i>	Tidak terintegrasi	Menjadi target utama	-	Target penurunan emisi 31,89%	Komitmen global belum sepenuhnya terimplementasi
Integrasi Kebijakan	Sinkronisasi dan CSA	Belum terintegrasi	Belum berbasis spasial	<i>Partial</i>	Penerapan AWD dan CSA	Menunjukkan arah solusi integrasi kebijakan
Konflik Kebijakan	<i>Trade-off</i> kebijakan	Intensifikasi produksi	Penurunan emisi	<i>Trade-off</i>	Intensifikasi berpotensi meningkatkan emisi	Muncul paradoks kebijakan (<i>policy paradox</i>)
Pendekatan Kebijakan	Program vs lahan	<i>Spatial-based policy</i>	<i>Program-based policy</i>	<i>Incoherent</i>	Dominasi pendekatan <i>Budget tagging</i>	Perlu transformasi menuju pendekatan berbasis lahan
Outcome Kebijakan	Efektivitas & dampak	Perlindungan administratif lahan	Klaim penurunan emisi	<i>Inefficient</i>	Dampak belum terverifikasi	Terjadi <i>policy negation</i> dan efektivitas rendah
Ekonomi Karbon	NEK dan insentif karbon	Belum terhubung	Belum berbasis MRV spasial	<i>Fragmented</i>	Potensi karbon belum dapat dimonetisasi	Kehilangan peluang ekonomi karbon (<i>Lost economic opportunity</i>)

Sumber: Diolah oleh penulis (2026) berdasarkan Undang-Undang Nomor 41 Tahun 2009 tentang Perlindungan Lahan Pertanian Pangan Berkelanjutan; Peraturan Presiden Nomor 61 Tahun 2011 tentang RAN-GRK; Aziz *et al.*, 2025; Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2024b; Suryani *et al.*, 2023.

Kerangka tata kelola lahan berbasis iklim (*land-based climate governance*) yang diusulkan bertolak dari satu premis sederhana: lahan sawah harus menjadi unit analisis bersama bagi seluruh kebijakan yang berkaitan dengan produksi pangan dan iklim. Pendekatan ini menjadi relevan sebagai kerangka integratif yang mampu menjembatani kesenjangan antara kebijakan perlindungan lahan dan mitigasi perubahan iklim. Model konseptual ini berangkat dari realitas adanya dualisme kebijakan, di mana LP2B berorientasi pada perlindungan lahan secara spasial (*spatial protection*), sementara RAN-GRK berfokus pada penurunan emisi (*emission reduction*) melalui pendekatan program-based yang tidak berbasis pada unit lahan. Akibatnya, lahan sebagai entitas fisik tidak menjadi titik temu kebijakan (*no shared unit of analysis*), sehingga integrasi antara dimensi spasial, produksi, dan emisi tidak terjadi. Di sisi lain, sistem MRV yang tidak berbasis lokasi menyebabkan ketidakmampuan dalam menghasilkan data penurunan emisi yang valid dan dapat diverifikasi, sehingga tidak dapat dimanfaatkan dalam skema ekonomi karbon.

Sebagai respons, *land-based climate governance* menempatkan lahan sebagai unit analisis utama yang mengintegrasikan tiga elemen kunci, yaitu LP2B sebagai basis spasial, RAN-GRK sebagai kerangka mitigasi emisi, dan *climate-smart agriculture* (CSA) sebagai instrumen operasional di tingkat budidaya. Dengan lahan sebagai titik temu, fragmentasi antara LP2B dan RAN-GRK dapat diatasi melalui empat lapisan integrasi melalui pendekatan *whole-of-government* yang mengintegrasikan peran Kementerian Pertanian, Kementerian Lingkungan Hidup/, ATR/BPN, Bappenas, dan pemerintah daerah dalam satu sistem koordinasi.



Gambar 4. Land Base Climate Governance Scheme
Sumber: Diolah Penulis (2026)

Pertama, lapisan integrasi spasial. Peta LP2B dioverlay dengan peta hotspot emisi metana dari lahan sawah untuk menghasilkan zonasi prioritas mitigasi berbasis lahan. Dengan cara ini, intervensi RAN-GRK tidak lagi tersebar programatik, melainkan diarahkan ke lokasi dengan potensi penurunan emisi tertinggi, misalnya kawasan sawah irigasi teknis dengan intensitas tergenang tinggi.

Kedua, lapisan produksi dan praktik. Standar CSA, termasuk AWD, efisiensi pupuk, dan varietas rendah emisi ditetapkan sebagai prasyarat pengelolaan lahan LP2B. LP2B tidak lagi sekadar instrumen asset protection, melainkan juga ecological governance yang mengatur bagaimana lahan harus dikelola secara berkelanjutan.

Ketiga, lapisan pengukuran. Sistem MRV berbasis lahan dikembangkan dengan metodologi plot-level accounting yang memungkinkan pengukuran emisi aktual per unit lahan. Sistem ini menjadi tulang punggung akuntabilitas kebijakan dan persyaratan utama untuk memanfaatkan skema NEK berdasarkan Perpres 98/2021.

Keempat, lapisan ekonomi dan insentif. Sistem MRV dihubungkan dengan skema result-based payment dan carbon registry untuk subsektor tanaman pangan. Petani yang menerapkan praktik rendah emisi mendapatkan insentif finansial yang nyata mengubah mitigasi iklim dari kewajiban administratif menjadi peluang ekonomi.

V. PENUTUP

1. Fragmentasi antara LP2B dan RAN-GRK bukan sekadar soal ketidakcocokan regulasi ini adalah cerminan dari cara Indonesia mendesain kebijakan pertanian dan iklim secara terpisah padahal keduanya berbagi satu objek yang sama: lahan sawah. Hasilnya adalah dua kebijakan strategis yang saling melemahkan, lahan yang terlindungi namun tetap menghasilkan emisi tinggi, dan target iklim yang diklaim tercapai namun tidak dapat diverifikasi.
2. Kerangka tata kelola lahan berbasis iklim menawarkan jalan keluar yang tidak memerlukan kebijakan baru dari awal, melainkan integrasi cerdas dari instrumen yang sudah ada: peta LP2B sebagai basis spasial, CSA sebagai standar pengelolaan, MRV berbasis lahan sebagai sistem akuntabilitas, dan NEK sebagai mekanisme insentif. Transformasi ini menggeser orientasi kebijakan dari *administrative compliance* menuju *result-based governance* dengan berfokus pada jumlah emisi yang benar-benar turun di lapangan.
3. Langkah-langkah konsisten untuk mendorong ketersediaan lahan sawah yang terlindung di Indonesia, terutama sawah yang produktif, rendah emisi, dan berkontribusi nyata pada target iklim nasional mencakup: (1) penetapan *single geospatial reference* LP2B terintegrasi hingga level plot oleh ATR/BPN dan Badan Informasi Geospasial (BIG); (2) integrasi standar CSA ke dalam persyaratan pengelolaan lahan LP2B oleh Kementerian Pertanian; (3) transformasi sistem MRV dari *budget tagging* ke *plot-level accounting* oleh Kementerian Lingkungan Hidup (KLH) bersama Bappenas; (4) operasionalisasi skema NEK berbasis kinerja emisi lahan oleh Kemenkeu; dan (5) percepatan penetapan Perda LP2B berbasis spasial di seluruh daerah.

DAFTAR PUSTAKA

- Affan, S. I. (2026, February 10). Pemerintah Gembok Alih Fungsi Lahan Sawah 6 Juta Hektare. *Bloomberg Technoz*.
- Aisyah, G. A. (2023). Kebijakan perubahan iklim Australia pada masa pemerintah Scott Morrison terhadap Australian bushfires periode 2019–2020. *Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah*.
- Aziz, A., Wahida, Mulyono, J., Nurhafizhah, R., & Ariani, F. (2025). *Identifikasi program pembangunan pertanian untuk pencapaian target Rencana Aksi Nasional Gas Rumah Kaca (RAN-GRK)* (Laporan Akhir Analisis Kebijakan TA 2025).
- Balogh, J. M. (2023). The impacts of agricultural subsidies of Common Agricultural Policy on agricultural emissions: The case of the European Union. *Agricultural Economics (Czech Republic)*, 69(4). <https://doi.org/10.17221/51/2023-AGRICECON>
- Bappenas. (2025). Pemerintah Perkuat Pengendalian Alih Fungsi Lahan Sawah untuk Jaga Ketahanan Pangan Nasional | Kementerian PPN/Bappenas. Bappenas.
- BPN Simalungun. (2025, March 19). Pemerintah Tetapkan 87% Lahan Baku Sawah sebagai LP2B, Menteri Nusron: Tidak Boleh Diubah Fungsi. Kantor Pertanahan Kab. Simalungun.
- BPS. (2024). Luas Panen, Produktivitas, dan Produksi Padi Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah, 2024. *Badan Pusat Statistik*.
- FAO. (2013). Climate-Smart Agriculture Sourcebook. In *Sourcebook on Climate-Smart Agriculture, Forestry and Fisheries*.
- Humaira, S. (2022). Climate Smart Agriculture: Sistem Ketahanan Pertanian Cerdas Yang Ramah Iklim. *IPB DIGITANI*.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024a). Kemajuan Aksi Perubahan Iklim Indonesia: *Leading By Examples*. Ppid.Menhk.Go.Id, (September 2023).
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024b). Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Monitoring, Pelaporan, Verifikasi (MPV) Tahun 2024. In *Educacao e Sociedade* (Vol. 10, Number 1).
- KLHK. (2022). Laporan Kinerja Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Tahun 2022. *Laporan Kinerja Kementrian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan*, 53(9).
- Kusumastuti, A. C., Kolopaking, L. M., & Barus, B. (2018). Faktor yang Mempengaruhi Alih Fungsi Lahan Pertanian Pangan di Kabupaten Pandeglang. *Jurnal Sosiologi Pedesaa*, 6(2).
- Mulyana, C. (2025, September 4). Antara Data dan Realita, Alih Fungsi Lahan Ancaman Nyata Produksi Pangan. *Media Indonesia*.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia. (2011). Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 61 Tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca. *Sekretariat Negara : Jakarta*.
- Pramono, A., Jumari, J., & Ayu Adriany, T. (2018). Penghematan Air dan Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca Pada Perlakuan Alternate Wetting and Drying di Lahan Sawah. *Jurnal Ecolab*, 12(1). <https://doi.org/10.20886/jklh.2018.12.1.20-31>
- Prihatini, Z., & Jatmiko, B. P. (2025, October 18). Guru besar IPB: sawah kian tergerus karena alih fungsi lahan. *Kompas*.
- Rahmadi, A. (2025). Integrasi Lahan Sawah Yang Dilindungi Dalam Penyusunan Rencana Detail Tata Ruang di Desa Klayusiwalan, Kecamatan Batangan, Kabupaten Pati [Skripsi]. *Sekolah Tinggi Pertanahan Nasional*.
- Sari, D. M., & Hidayat, N. K. (2025, May 18). Menilik Implementasi Kebijakan LP2B: Strategi Pelindung Lahan Pertanian yang Belum Optimal. *Kabar Nusantara*.
- Setyanto, P., Pramono, A., Adriany, T. A., Susilawati, H. L., Tokida, T., Padre, A. T., & Minamikawa, K. (2018). Alternate wetting and drying reduces methane emission from a rice paddy in Central Java, Indonesia without yield loss. *Soil Science and Plant Nutrition*, 64(1). <https://doi.org/10.1080/00380768.2017.1409600>
- Suryani, E., Sarwani, M., Dabukke, F. B. M., Adawiyah, C. R., & Ar-Rozi, A. M. (2023). *Implementasi regulasi perlindungan lahan pangan pertanian berkelanjutan*.
- Wati, R. I., Maulida, Y. F., & Subejo, S. (2025). Faktor Penentu Regenerasi Petani di Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Kawistara*, 15(1). <https://doi.org/10.22146/kawistara.95740>

Agrivoltaic: Model Pertanian Masa Depan Berbasis Energi Surya Dan Efisiensi Lahan

Eli Wahyuni Nasution

Institut Teknologi Sawit Indonesia, Medan, Sumatera Utara, 20222

E-mail: Wahyuninsteli@gmail.com

RINGKASAN

Agrivoltaic merupakan sistem pemanfaatan lahan secara ganda yang mengintegrasikan panel surya dengan budidaya pertanian dalam satu lahan. Konsep ini muncul sebagai respons terhadap dua tantangan global yakni meningkatnya kebutuhan energi terbarukan dan tekanan perubahan iklim terhadap sektor pertanian. Tulisan ini membahas potensi *agrivoltaic* sebagai strategi optimalisasi lahan pertanian di Indonesia dengan fokus pada aspek pengelolaan sumberdaya lahan, efisiensi penggunaan air, stabilitas mikroklimat, dan diversifikasi pendapatan petani. Berdasarkan berbagai kajian ilmiah, *agrivoltaic* terbukti mampu menurunkan suhu tanah hingga 2-5°C, mengurangi evaporasi 20-30%, dan meningkatkan efisiensi penggunaan lahan hingga 1,6 kali dibandingkan penggunaan tunggal. Namun, implementasinya di Indonesia menghadapi tantangan berupa investasi awal yang tinggi, ketidakjelasan regulasi, serta perlunya kajian spesifik lokasi terkait kompatibilitas tanaman dan karakteristik tanah. Tulisan ini Memberikan gambaran tentang konsep dan prinsip kerja *agrivoltaic*, menganalisis manfaat *agrivoltaic* bagi pertanian dan energi dan mengkaji potensi *agrivoltaic* dalam menghadapi perubahan iklim serta mengidentifikasi peluang penerapan *agrivoltaic* di Indonesia.

I. PENDAHULUAN

Perubahan iklim telah menjadi ancaman nyata bagi sektor pertanian di Indonesia. Laju kenaikan suhu udara rata-rata di Indonesia mencapai >0,3°C per dekade di banyak wilayah dengan tren keseluruhan 1,02°C selama 44 tahun (1981-2024). Hal ini mengganggu siklus pertumbuhan tanaman padi dan jagung, menurunkan hasil panen hingga 20-30% akibat stres panas (Woro Estiningtyas, 2025). Di sisi lain, Indonesia berkomitmen untuk melakukan transisi energi menuju sumber energi terbarukan sebagai bagian dari upaya penurunan emisi gas rumah kaca dengan target bauran energi baru terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 (Dwi, 2025). Tantangan yang muncul adalah adanya benturan kebutuhan ruang antara produksi pangan dan produksi energi. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) skala besar memerlukan lahan yang tidak sedikit, sementara lahan pertanian produktif justru terus mengalami tekanan konversi ke penggunaan *non-pertanian*.

Lahan pertanian di Indonesia berada dalam kondisi yang semakin terbatas dan tertekan. Provinsi Jawa dan

Sumatera mengalami konversi ke perumahan (75%) dan industri dengan proyeksi nasional prediksi lahan sawah tinggal 5,1 juta ha pada 2045 jika laju 2,58%/tahun berlanjut (Kementerian Pertanian, 2024). Selain tekanan konversi, Konversi lahan mempercepat degradasi karena hilangnya horizon A (erosi <5 cm), penurunan unsur hara (N-total 0,07-0,11%), dan minim pengembalian sisa panen, terutama di lahan Ultisol/Gambut pasca-urbanisasi. Di Jawa-Sumatera, 25% lahan gambut terdegradasi akibat konversi hutan ke *non-pertanian*, menurunkan daya dukung (Aqidah & Ibrahim, 2024). Degradasi ini kurangi produktivitas hingga 50%, memperparah ancaman pangan saat konversi 100.000 ha/tahun berlangsung (Maro'ah *et al.*, 2022). Perubahan iklim memperparah kondisi ini melalui peningkatan suhu yang mempercepat mineralisasi bahan organik serta peningkatan evaporasi yang menyebabkan tanah lebih cepat kering (Hasan, 2024).

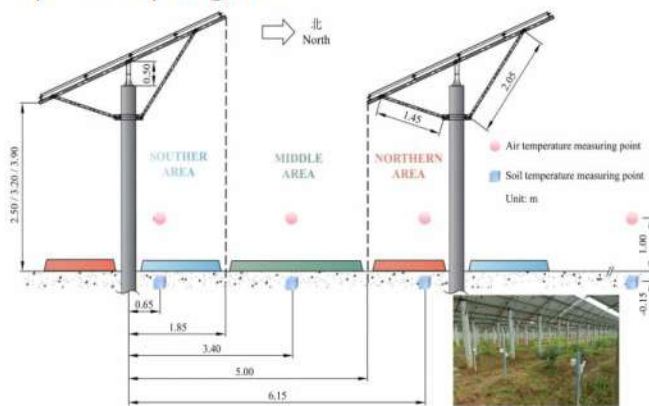
Di tengah tekanan terhadap lahan pertanian, pengembangan PLTS skala besar justru membutuhkan lahan yang luas. Untuk mencapai target kapasitas PLTS sebesar 6,5 GW pada tahun 2025, diperlukan lahan sekitar 32.500 hektar dengan asumsi kebutuhan 0,5 hektar per MWp untuk PLTS tipe darat (*ground-mounted*) (forest insights, 2024). Dilema ini mendorong perlunya alternatif model pengembangan PLTS yang tidak mengorbankan fungsi pertanian, di mana produksi pangan dan energi dapat berlangsung secara bersamaan dalam satu hamparan lahan. *Agrivoltaic* (*agrivoltaics*) hadir sebagai konsep pemanfaatan lahan secara ganda yang mengintegrasikan panel surya dengan budidaya pertanian dalam hamparan yang sama. Korea Selatan sukses terapkan *agrivoltaic* skala besar pasca-2020, mengurangi emisi karbon sambil jaga produksi pangan; proyek pemerintah integrasikan panel transparan di atas sawah padi, tingkatkan hasil panen 15-30% via naungan). Selain itu, *agrivoltaic* memberikan manfaat India capai 2,8 GW *agrivoltaic* pada 2020, gabungkan panel dengan tanaman kacang-kacangan; China ekspansi cepat pasca-2020 di lahan kering, tingkatkan biomassa tanaman 10-76% via efek naungan mikroklim (Mohammad *et al.*, 2024).

Meskipun *agrivoltaic* telah banyak dikaji di negara beriklim sedang, implementasinya di Indonesia yang beriklim tropis basah masih sangat terbatas. Berdasarkan hal tersebut, tulisan ini bertujuan menguraikan konsep *agrivoltaic*, menganalisis potensi manfaatnya bagi pengelolaan sumberdaya lahan, mengidentifikasi tantangan implementasi di pertanian tropis basah, serta memberikan

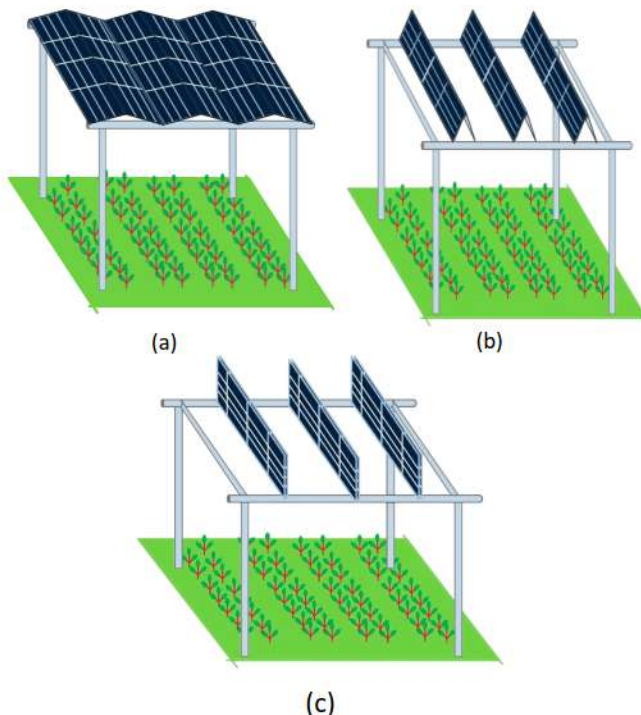
rekomendasi kebijakan dan teknis yang diharapkan dapat menjadi rujukan bagi pengembangan *agrivoltaic* berkelanjutan di Indonesia.

II. AGRIVOLTAIC: KONSEP DAN TIPOLOGI SISTEM

Agrivoltaic merupakan sistem pemanfaatan lahan terpadu yang menggabungkan produksi energi surya melalui panel fotovoltaik dengan aktivitas pertanian pada lahan yang sama. Konsep ini berkembang sebagai solusi terhadap meningkatnya kebutuhan energi terbarukan tanpa mengurangi luas lahan pertanian produktif (Mahim *et al.*, 2025). Dalam sistem *agrivoltaic*, panel surya dipasang pada ketinggian tertentu dengan pengaturan jarak antar modul sehingga intensitas cahaya yang diterima tanaman tetap berada pada tingkat optimal. Ilustrasi sistem *agrivoltaic* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Sistem yang dapat Bergerak



Gambar 6. Ilustrasi konseptual AVS berbasis panel lipat. (a) Tertutup sepenuhnya. (b) Tertutup sebagian. (c) Terbuka sepenuhnya.



Gambar 7. AVS Greenhouse

Secara umum, *agrivoltaic* memiliki tiga tipologi utama berdasarkan desain konstruksinya (Mahim *et al.*, 2025). Pertama, sistem stasioner dengan ketinggian tetap, yaitu panel dipasang pada struktur setinggi 2,5–5 meter dengan jarak antar baris yang cukup lebar untuk mendukung aktivitas pertanian dan akses alat mekanisasi (Gong *et al.*, 2025). Kedua, sistem panel dinamis atau *movable photovoltaic system* yang memungkinkan sudut kemiringan panel diubah sesuai kebutuhan tanaman dan intensitas matahari sehingga distribusi cahaya lebih efisien (Lama & Jeong, 2024). Ketiga, *greenhouse agrivoltaic*, yaitu panel dipasang menyatu dengan struktur rumah kaca untuk mengontrol suhu, kelembaban, dan radiasi matahari pada tanaman hortikultura bernilai ekonomi tinggi (Bellini, 2024).

Perkembangan teknologi *agrivoltaic* menunjukkan bahwa sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai penyedia energi, tetapi juga sebagai teknologi adaptif pertanian modern. Penelitian menunjukkan bahwa pengaturan kemiringan panel sebesar 20° mampu menghasilkan keseimbangan optimal antara produksi listrik dan produktivitas tanaman di bawahnya. Selain itu, integrasi sensor iklim dan sistem *Internet of Things* (IoT) mulai diterapkan untuk memantau suhu, kelembaban, dan intensitas cahaya secara *real-time* sehingga efisiensi sistem dapat ditingkatkan.

Dalam konteks Indonesia, konsep *agrivoltaic* mulai dikembangkan pada beberapa kawasan pertanian dan perkebunan, terutama pada lahan hortikultura dan sawah tadah hujan. Potensi penerapan *agrivoltaic* di Indonesia sangat besar mengingat intensitas radiasi matahari rata-rata mencapai 4,8 kWh/m²/hari serta luas lahan pertanian yang signifikan. Dengan kondisi tersebut, *agrivoltaic* berpotensi menjadi strategi pembangunan pertanian berkelanjutan berbasis energi terbarukan.

III. AGRIVOLTAIC DAN OPTIMALISASI PENGELOLAAN SUMBERDAYA LAHAN

Salah satu keunggulan utama *agrivoltaic* adalah peningkatan efisiensi penggunaan lahan. *Land Equivalent Ratio* (LER) yang mengukur produktivitas relatif penggunaan lahan ganda dibandingkan penggunaan tunggal mencapai

171% (1,71) pada konfigurasi kemiringan panel 20° membuktikan peningkatan produktivitas lahan secara signifikan (Mouhib *et al.*, 2024). Artinya, untuk menghasilkan output yang sama antara produksi pangan dan energi, *agrivoltaic* hanya membutuhkan lahan 60-80% dari total lahan yang diperlukan jika kedua kegiatan dilakukan secara terpisah.

Peningkatan efisiensi lahan menjadi sangat penting di tengah meningkatnya tekanan konversi lahan pertanian menjadi kawasan industri, perumahan, maupun energi. Berdasarkan penelitian Sofyan *et al.* (2024) sistem *agrivoltaic* berpotensi meningkatkan produktivitas lahan kering, tetapi perencanaan matang diperlukan untuk menjamin manfaat produksi pertanian dan energi dengan Fuzzy-AHP-SIG mengidentifikasi irradiasi matahari bobot 0,497 sebagai kriteria paling penting untuk kesesuaian lahan *agrivoltaic* di wilayah semi-kering seperti Gunungkidul. Selain itu berdasarkan sistem *agrivoltaic* pada lahan budidaya anggur menghasilkan *Land Equivalent Ratio* (LER) 1,354 menunjukkan efisiensi penggunaan lahan 35,4% lebih tinggi dibandingkan penggunaan lahan tunggal untuk PLTS atau pertanian. Biaya pembangkitan Rp 663,56/kWh lebih murah dari PLTU batubara (Rp 737,35/kWh) dengan *payback* period 2,78 tahun dan pengurangan emisi 1.009,741 t CO₂.

IV. DAMPAK AGRIVOLTAIC TERHADAP MIKROKLIMAT DAN EFISIENSI AIR

Perubahan iklim menyebabkan peningkatan suhu udara, ketidakpastian curah hujan, dan frekuensi kekeringan yang berdampak langsung terhadap produktivitas pertanian. Dalam kondisi tersebut, *agrivoltaic* berfungsi sebagai sistem modifikasi iklim yang mampu menciptakan lingkungan tumbuh lebih stabil bagi tanaman. Penelitian Omer *et al.* (2025) menunjukkan bahwa naungan panel surya dapat menurunkan suhu udara dan suhu tanah sebesar 1–4°C dibandingkan lahan terbuka. Penurunan suhu ini berpengaruh terhadap berkurangnya tekanan panas pada tanaman, khususnya pada fase pembungaan dan pengisian biji yang sangat sensitif terhadap cekaman suhu tinggi. Selain itu, sistem *agrivoltaic* mampu menurunkan laju evapotranspirasi sehingga efisiensi penggunaan air meningkat sebesar 20–47%.

Efisiensi penggunaan air menjadi salah satu manfaat utama *agrivoltaic* pada wilayah yang rentan kekeringan. Dengan berkurangnya penguapan dari permukaan tanah, kelembaban tanah dapat bertahan lebih lama setelah hujan atau irigasi. Kondisi ini membantu mengurangi kebutuhan air irigasi sekaligus meningkatkan ketahanan tanaman terhadap periode kering. Secara ekologis, *agrivoltaic* juga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim melalui pengurangan emisi karbon. *Agrioltaic* di Indonesia mendukung Perpres No. 112/2022 tentang percepatan transisi energi terbarukan dengan

potensi 207 GWp energi matahari berfungsi sebagai strategi adaptasi terhadap perubahan iklim sekaligus upaya mitigasi emisi gas rumah kaca (Aziz *et al.*, 2025). Dengan demikian, *agrivoltaic* tidak hanya berfungsi sebagai strategi adaptasi terhadap perubahan iklim, tetapi juga sebagai upaya mitigasi emisi gas rumah kaca.

V. KOMPATIBILITAS TANAMAN DAN RESPONS PRODUKTIVITAS

Keberhasilan sistem *agrivoltaic* sangat dipengaruhi oleh tingkat kompatibilitas tanaman terhadap kondisi naungan panel surya. Tidak semua tanaman memberikan respons yang sama terhadap penurunan intensitas cahaya sehingga pemilihan komoditas menjadi faktor penting dalam implementasi *agrivoltaic*. Proyek *agrivoltaic* di PT. MedcoEnergi Solar Power Sumbawa menanam pokcoy, bayam, kangkung, saladiri, melon, dan semangka di bawah panel surya. Bayam dan pokcoy menjadi tanaman pertama yang dipanen karena memiliki siklus pertumbuhan yang lebih singkat dengan hasil panen pertama mencapai sekitar 15 kilogram (UTS Berita, 2022). Proyek ini membantu mengurangi evaporasi air dan memberikan perlindungan terhadap panas matahari berlebihan, yang sangat bermanfaat bagi tanaman di bawah panel surya.

Pada kelompok tanaman buah semusim seperti cabai, tomat, dan terong hasil produksi umumnya tetap stabil meskipun intensitas cahaya berkurang. Padi sawah di Korea Selatan mengalami penurunan hasil -8,9% hingga -18,7% karena sensitivitas terhadap cahaya berkurang pada fase pembentukan anakan dan pengisian bulir (Aziz *et al.*, 2025). Jagung sebagai tanaman C4 juga memiliki kebutuhan cahaya tinggi dengan hasil bisa turun 55% pada kondisi seimbang antara tanaman dan panel surya sehingga desain panel harus memiliki jarak antar modul lebih lebar agar produktivitas tidak menurun. Sementara itu, pada tanaman tahunan seperti kelapa sawit, kopi, dan karet, tantangan utama terletak pada penyesuaian tinggi panel terhadap perkembangan tajuk tanaman. Pada perkebunan kelapa sawit, *agrivoltaic* berpotensi diterapkan pada fase tanaman muda (TBM) karena ruang antar tanaman masih terbuka dan intensitas cahaya yang diterima lahan relatif tinggi (Walmadri *et al.*, 2025). Sistem ini berpotensi meningkatkan efisiensi pemanfaatan lahan perkebunan sekaligus menyediakan energi untuk operasional kebun.

VI. DIVERSIFIKASI PENDAPATAN DAN KETAHANAN EKONOMI PETANI

Salah satu daya tarik utama *agrivoltaic* adalah kemampuannya menciptakan diversifikasi pendapatan bagi petani melalui integrasi produksi pangan dan energi listrik. Pendapatan petani cabai dengan *agrovoltaic* mencapai Rp 7.836.000/1000 m², 101,7% lebih tinggi dari konvensional Rp

4.549.500/1000 m² dengan B/C ratio 1,76 (Darman *et al.*, 2024). Selain itu, Pendapatan perhitungan dari sistem *agrivoltaic* pada lahan budidaya anggur mencapai Rp 105.444.345,53 per tahun pada 10 tahun awal, dan Rp 62.964.966,39 per tahun pada tahun 11–25 dengan total pendapatan simulasi selama 25 tahun mencapai Rp 1.687.147.562 (Sofyan *et al.*, 2024). Sistem ini memungkinkan petani memperoleh pendapatan ganda dari hasil panen dan penjualan energi listrik sehingga risiko ekonomi akibat fluktuasi harga komoditas dapat dikurangi. Penggunaan listrik mandiri dapat mengurangi biaya operasional pertanian seperti biaya pompa irigasi dan pendingin pasca panen.

Dari sisi investasi, pembangunan sistem *agrivoltaic* memerlukan biaya awal yang relatif tinggi karena mencakup instalasi panel surya, struktur penyangga, inverter, dan sistem distribusi listrik. Namun, *payback period agrivoltaic* mencapai 2,78–2,92 tahun dengan investasi awal Rp 1.045.500.000 untuk 100 kWp karena menggunakan lahan ganda untuk produksi energi dan pertanian (Aziz *et al.*, 2025). Analisis ekonomi menunjukkan bahwa penerapan *agrivoltaic* dapat meningkatkan pendapatan dengan B/C ratio 2,35 dan NPV Rp 857–916 juta selama 25 tahun.

Di Indonesia, implementasi *agrivoltaic* masih menghadapi beberapa tantangan seperti tingginya biaya investasi awal, keterbatasan teknologi, regulasi jual beli listrik, dan minimnya pemahaman petani terhadap sistem energi surya. Oleh karena itu, dukungan pemerintah terhadap pengembangan energi baru terbarukan membuka peluang besar bagi penerapan *agrivoltaic* di masa mendatang. Dengan kombinasi manfaat ekonomi, lingkungan, dan efisiensi lahan, *agrivoltaic* berpotensi menjadi model pertanian masa depan yang mendukung ketahanan pangan, transisi energi bersih, dan pembangunan pertanian berkelanjutan di Indonesia.

VII. PENUTUP

Agrivoltaic merupakan inovasi pengelolaan lahan yang menjawab tantangan ganda di era perubahan iklim, yaitu kebutuhan pangan dan energi terbarukan, dengan mengoptimalkan ruang vertikal untuk panel surya tanpa mengorbankan fungsi produksi pangan. Berbagai kajian ilmiah membuktikan bahwa sistem ini mampu menurunkan suhu tanah, mengurangi kebutuhan air irigasi, dan meningkatkan efisiensi lahan hingga 1,6 kali dibandingkan penggunaan tunggal. Namun demikian, implementasinya di Indonesia masih menghadapi tantangan signifikan seperti tingginya investasi awal, ketidakjelasan regulasi, dan perlunya kajian kompatibilitas dengan komoditas lokal. Informasi geospasial berperan strategis dalam menentukan lokasi prioritas, sementara pengembangan standar teknis diperlukan untuk memastikan sistem berjalan aman dan produktif.

Oleh karena itu, diperlukan langkah konkret berupa uji coba lapangan pada berbagai komoditas lokal, penyusunan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk sistem *agrivoltaic* dan penyusunan peta potensi berbasis geospasial agar tidak mengganggu lahan pangan produktif. Sinkronisasi kebijakan lintas sektor antara Kementerian Pertanian, Kementerian ESDM, dan Kementerian ATR/BPN sangat penting untuk memberikan kepastian hukum, didukung skema pembiayaan inklusif seperti kredit lunak atau bagi hasil yang memungkinkan petani kecil mengakses teknologi ini, serta penguatan kapasitas petani melalui pelatihan dan pendampingan. Dengan pendekatan holistik dan kebijakan yang berpihak, *agrivoltaic* berpotensi menjadi strategi utama dalam mewujudkan pengelolaan lahan pertanian berkelanjutan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aqidah, N., & Ibrahim, B. (2024). PENENTUAN INDEKS KESUBURAN TANAH PADA BEBERAPA PENGGUNAAN LAHAN DI SUB DAS JENELATA, KABUPATEN GOWA *Determination of Soil Fertility Index in Various Land Uses in Jenelata Sub-watershed, Gowa Regency* (Vol. 8, Number 2).
- Bellini, emiliano. (2024, April 19). Agrivoltaics for cucumbers. www.pv-magazine.com
- Dwi, A. (2025, August 8). Bauran Energi Terbarukan RI Capai 16% di Semester I-2025. *ListrikIndonesia.com*.
- Forest insights. (2024). Potensi PLTS Terapung di Indonesia. *Forestinsights.id*.
- Gong, W., Zhang, L., Gong, J., Geng, X., Wang, L., Deng, L., Wu, C., & Bao, E. (2025). Regulatory effect of agriphotovoltaic systems with different panel heights on the thermal environment. *Scientific Reports*, 15(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96166-5>
- Hasan, H. (2024). Dampak Perubahan Iklim pada Kualitas Tanah dan Air Dalam Geokimia Lingkungan.
- Kementrian Pertanian. (2024). STATISTIK PERTANIAN (AGRICULTURAL STATISTICS).
- Lama, R. K., & Jeong, H. (2024). Design and Performance Analysis of Foldable Solar Panel for Agrivoltaics System. *Sensors*, 24(4). <https://doi.org/10.3390/s24041167>
- Mahim, T. M., Rahman, M. M., & Huda, A. S. N. (2025). Review of the Challenges and Prospects in Agrivoltaics. In *Advanced Energy and Sustainability Research*. Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/aesr.202500227>
- Maro'ah, S., Sunarminto, B. H., & Utami, S. N. H. (2022). Status Kesuburan Tanah sebagai Dasar Strategi Pengelolaan Lahan Sawah di Kabupaten Bantul, Indonesia. *AgriHealth: Journal of Agri-Food, Nutrition and Public Health*, 2(2), 78. <https://doi.org/10.20961/agrihealth.v2i2.54957>

- Mohammad, G., Ghosh, H., Mitra, K., & Saha, N. (2024). Sun, Soil, and Sustainability: Opportunities and Challenges of Agri-Voltaic Systems in India. *Current Agriculture Research Journal*, 12(1), 49–62. <https://doi.org/10.12944/carj.12.1.05>
- Mouhib, E., Álvaro Fernández-Solas, Pedro J Perez-Higueras, & Ana M. Fernández-Ocaña b, L. M. c, F. A. a, E. F. F. a. (2024). Enhancing land use: Integrating bifacial PV and olive trees in *agrivoltaic systems*. *Applied Energy*.
- Omer, A. A. A., Ming Li, & Fangxin Zhang c, M. M. E. H. d, W. E. K. f, X. Z. b, H. L. e, J. L. a, W. L. b c. (2025). Impacts of agrivoltaic systems on microclimate, water use efficiency, and crop yield: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Woro Estiningtyas. (2025). Kajian Dampak Perubahan Iklim pada Sektor Pertanian: Upaya Strategis Adaptasi untuk Mendukung Ketahanan Pangan. In *Prediksi Iklim untuk Ketahanan Pangan*. Penerbit BRIN. <https://doi.org/10.55981/brin.1244.c1386>

Pemanfaatan Mulsa Plastik Untuk Meningkatkan Produktivitas Padi Gogo Di Lahan Kering

Agus Steven Sitinjak

Mahasiswa Politeknik Pembangunan Pertanian Medan, Kementerian Pertanian

RINGKASAN

Budidaya padi gogo pada lahan kering menghadapi berbagai kendala, terutama keterbatasan ketersediaan air, tingginya laju evaporasi, serta kompetisi dengan gulma. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penerapan mulsa plastik hitam-perak sebagai teknologi konservasi tanah dan air. Kajian ini bertujuan untuk menganalisis peran, mekanisme kerja, serta pengaruh penggunaan mulsa plastik terhadap pertumbuhan dan produktivitas padi gogo. Metode yang digunakan berupa kajian deskriptif melalui studi literatur dan observasi praktik lapangan. Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan mulsa plastik mampu menjaga kelembapan tanah, menstabilkan suhu tanah, serta menekan pertumbuhan gulma, sehingga menciptakan kondisi lingkungan tumbuh yang lebih optimal bagi tanaman. Selain itu, mulsa plastik juga berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman yang lebih baik. Secara keseluruhan, penggunaan mulsa plastik berpotensi menjadi alternatif teknologi yang efektif dalam meningkatkan produktivitas padi gogo pada lahan kering, dengan tetap mempertimbangkan aspek keberlanjutan dalam implementasinya.

I. PENDAHULUAN

Padi merupakan bahan baku utama beras yang menjadi sumber makanan utama bagi masyarakat Indonesia, dan permintaan akan beras semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk (Suherman, 2018). Produksi padi nasional masih berfokus pada lahan sawah, akan tetapi setiap tahunnya lahan sawah mengalami penyusutan akibat alih fungsi lahan menjadi tempat pemukiman. Upaya yang dapat dilakukan ialah dengan memperluas areal pertanaman padi gogo (Suherman, 2018). Hal ini sejalan dengan program Astacita Presiden Republik Indonesia, terutama dalam penguatan ketahanan dan swasembada pangan melalui optimalisasi sumber daya lahan, peningkatan produktivitas pertanian, serta penerapan inovasi teknologi yang adaptif.

Indonesia memiliki potensi lahan kering yang luas untuk mendukung pengembangan tanaman pangan, termasuk padi gogo. BRIN, (2024) melaporkan bahwa total potensi lahan kering di Indonesia mencapai sekitar 144,47 juta ha. Namun, pengembangan padi gogo masih menghadapi berbagai kendala, terutama keterbatasan ketersediaan air, ketergantungan terhadap curah hujan,

serta belum optimalnya penerapan teknologi budidaya. Oleh karena itu, optimalisasi lahan kering melalui pengembangan padi gogo menjadi salah satu alternatif strategis dalam meningkatkan produksi pangan nasional.

Padi darat, atau padi gogo merupakan padi yang dapat tumbuh pada lahan kering. Padi gogo adalah padi lahan kering yang toleran kekeringan dan cocok ditanam di daerah tanpa irigasi permanen, yang hemat air, serta merupakan solusi ketahanan pangan (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2025). Namun, lahan kering memiliki berbagai keterbatasan akan sumber daya, terutama rendahnya ketersediaan air dan tingginya kompetisi gulma. Kekurangan air menyebabkan tingkat evaporasi yang tinggi dan pertumbuhan tanaman terhambat. Sementara itu, gulma menyerap nutrisi dan air, menurunkan hasil tanaman utama. Untuk itu diperlukan inovasi pengelolaan lahan yang dapat meningkatkan efisiensi air dan mengendalikan gulma pada padi gogo.

Solusi agronomi yang efektif adalah penggunaan mulsa plastik. Mulsa plastik berfungsi sebagai penutup tanah yang menjaga kelembapan tanah, mengurangi penguapan, dan menekan pertumbuhan gulma. Beberapa penelitian menyatakan mulsa plastik dapat meningkatkan produktivitas tanaman secara signifikan (Yu *et al.*, 2021). Penggunaan mulsa plastik pada pertanaman padi gogo mampu menekan pertumbuhan gulma, dapat menjaga suhu tanah agar tetap berada pada kondisi yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman serta meningkatkan refleksi PAR (*Photosynthetically Active Radiation*), yaitu bagian dari radiasi matahari yang dapat dimanfaatkan tanaman untuk proses fotosintesis. Mulsa memantulkan sebagian radiasi matahari ke arah tanaman sehingga dapat meningkatkan penerimaan cahaya oleh bagian kanopi tanaman (Setiawan, (2022); Wang *et al.* (2026).

II. PENGERTIAN DAN MEKANISME MULSA PLASTIK PADA PERTANAMAN PADI GOGO

Mulsa plastik umumnya berwarna hitam perak yang diartikan sebagai lembaran plastik tipis yang ditempatkan di atas bedengan tanam. Bahan tersebut diletakkan secara merata di atas bedengan, sehingga permukaan tanah tertutup secara sempurna. Mulsa juga dapat didefinisikan sebagai setiap bahan yang dihamparkan untuk menutup sebagian atau seluruh permukaan tanah dan mempengaruhi lingkungan mikro tanah yang ditutupi tersebut (Ilham *et al.*, 2025). Mulsa dapat menghalangi pertumbuhan gulma, dan

menyangga suhu tanah agar tidak terlalu panas dan tidak terlalu dingin (Setiawan, 2022).



Gambar 8. Mulsa Plastik Padi gogo
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Adapun mekanisme adopsi inovasi mulsa plastik pada pertanaman padi gogo adalah sebagai berikut :

A. Persiapan Lahan/Pra Pemasangan Mulsa

- Alat dan Bahan: Disiapkan mulsa plastik hitam-perak, alat pertanian (cangkul, parang, garu), benih padi gogo, dan pupuk (dolomit untuk kapur, pupuk NPK dan cair).



Gambar 9. Benih Padi
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- Lahan dibersihkan dari gulma dan digarap sedalam 25–30 cm untuk memperbaiki struktur tanah. Pengelolaan lahan dilakukan 2 kali, pertama pada musim kemarau atau setelah turun hujan pertama, dan pengolahan tanah kedua pada saat menjelang tanam.
- Membuat Bedengan : Pada lahan, dibuat bedengan dengan lebar 1,5 meter, dan jarak antar bedengan 1 meter.
- Pemberian Dolomit : Dolomit diberikan dan dicampur ke tanah saat persiapan lahan untuk menetralkan keasaman.



Gambar 10. Penebaran Dolomit
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- Mempersiapkan Pengikat Mulsa: Pengikat mulsa penting untuk dipersiapkan untuk menghindari mulsa tidak rusak saat sudah ditempatkan di lahan. Pengikat mulsa dapat dibuat dari bambu yang di potong kecil – kecil.



Gambar 11. Pengikat Mulsa dari Bambu
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

B. Pemasangan Mulsa Plastik

Pemasangan Mulsa Plastik: Setelah lahan siap, mulsa plastik dibentangkan pada bedengan tanam. Mulsa ditekan dan dikunci pada dengan bambu pengikat yang telah disiapkan agar menempel erat pada permukaan tanah. Lubang tanam dibuat secara teratur pada mulsa tempat benih padi akan ditanam.



Gambar 12. Pemasangan Mulsa
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

C. Pasca Pemasangan Mulsa

- Penanaman: Benih padi gogo ditanam dengan menempatkan satu bibit pada setiap lubang yang telah disiapkan di mulsa. Jarak tanam mengikuti standar populasi tanaman 20–30 tanaman/m². Mulsa plastik menjaga kelembapan di sekitar setiap lubang tanam sehingga akar dapat tumbuh lebih baik.



Gambar 13. Penanaman
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

- b. Pemeliharaan: Setelah tanam, pemeliharaan meliputi pengairan terbatas (memanfaatkan hujan dan air cadangan), pemupukan pertama pada usia tanaman 10-15 HST dengan pupuk Urea: SP36: KCL perbandingan 1:1:1 sebanyak 5 kg/ha, dan pemupukan kedua sebanyak 10 kg/ha.
- c. Karena mulsa plastik telah menekan pertumbuhan gulma secara signifikan, penyiangan manual dapat dikurangi. Pestisida hanya digunakan untuk serangan hama serius.

III. PENGARUH MULSA PLASTIK PADA PADI GOGO

Penggunaan mulsa plastik hitam perak menunjukkan dampak positif pada kondisi lahan dan pertumbuhan padi gogo. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh (Wang *et al.*, 2026) yang menyatakan bahwa penggunaan film mulsa plastik pada sistem padi non – genangan mampu meningkatkan suhu tanah pada fase awal pertumbuhan, mempercepat perkembangan akar, serta meningkatkan stabilitas panen.

Mulsa plastik memegang peran kunci dalam mengoptimalkan pemanfaatan lahan kering. Dengan menjaga kelembapan dan menekan gulma, mulsa meningkatkan efisiensi penggunaan air dan lahan. (Ilham *et al.*, 2025) menjelaskan beberapa peran utamanya adalah:

- a. Konservasi Sumber daya Air: Pada lahan kering, air sangat terbatas. Mulsa plastik menahan evaporasi, sehingga kebutuhan irigasi dapat dikurangi. Ini menghemat air dan memastikan tanaman mendapatkan suplai air lebih konsisten.
- b. Peningkatan Produktivitas: Dengan kondisi lahan yang lebih terjaga (lembap dan bebas gulma), pertumbuhan padi gogo menjadi optimal. Hasil panen meningkat signifikan; misalnya laporan percobaan menunjukkan hasil panen padi gogo dengan mulsa umumnya lebih tinggi, dengan kenaikan hasil gabah sebesar 48,6% dibandingkan tanpa mulsa. Peningkatan ini berasal dari jumlah malai yang lebih banyak dan berat gabah yang lebih tinggi.
- c. Pengurangan Biaya Operasional: Mulsa plastik mengurangi beban kerja penyiangan gulma dan aplikasi herbisida. Penelitian menunjukkan petani dapat memangkas biaya pengendalian gulma hingga sekitar 30% dengan mulsa. Berkurangnya penggunaan pestisida dan herbisida juga menguntungkan secara ekonomi dan lingkungan.
- d. Stabilitas Hasil dan Keberlanjutan: Dengan mulsa, fluktuasi hasil panen karena cuaca kering dapat diminimalkan. Ini meningkatkan keberlanjutan produksi pangan. Teknologi mulsa plastik mendukung manajemen lahan kering modern, menjadikan lahan

marginal lebih produktif tanpa perlu perluasan area usaha baru.

Secara keseluruhan, mulsa plastik menyinergikan berbagai faktor agronomi sehingga lahan kering dapat dikelola lebih efisien dan berkelanjutan. Teknologi ini menitikberatkan penggunaan sumber daya air dan tanah secara optimal, sesuai inti tujuan pengelolaan lahan kering.

Tabel 3. Perubahan kondisi tanah dan pertumbuhan padi gogo akibat penggunaan mulsa plastik.

Parameter	Tanpa Mulsa	Dengan Mulsa Plastik	Perubahan
Kelembaban Tanah	100%	133 – 155%	+33 – 55% (Lebih Tinggi)
Suhu Tanah	0 °C	+1,2 – 6,8 °C	+10 – 25%
Jumlah Gulma	100%	58%	-42%
Hasil Panen	Rata – rata 10,4% lebih rendah	10 – 15% lebih tinggi	+10% naik signifikan

Sumber : Wang *et al.* (2026)

Dari tabel diatas, dirangkum bahwa mulsa plastik dapat meningkatkan kelembaban tanah secara signifikan, mengurangi evaporasi tanah, serta meningkatkan kelembaban tanaman sebesar 33 – 55%, sehingga tanaman padi mengalami perkecambahan lebih baik dan vegetatif lebih cepat.

Hasil panen padi gogo dengan mulsa umumnya lebih tinggi, dengan kenaikan hasil gabah sebesar 48,6% dibanding tanpa mulsa (Yu *et al.*, 2021). Data lapangan juga memperlihatkan kenaikan produktivitas padi gogo di bawah mulsa. Misalnya, perbandingan tanaman padi gogo dengan dan tanpa mulsa menunjukkan peningkatan jumlah anakan produktif dan bobot gabah kering. Selain itu, mulsa plastik membantu pemeliharaan kelembapan selama fase kritis berbunga, sehingga proses fotosintesis lebih optimal.

Efek penurunan gulma juga berdampak pada kesehatan tanaman sebanyak 30 – 40% kenaikan pertumbuhan tanaman sehat tercatat karena kompetisi gulma berkurang. Secara keseluruhan, pengaruh agronomis mulsa plastik meliputi konservasi air, pengendalian gulma alami, dan peningkatan hasil panen.

IV. KEBERLANJUTAN DAN TANTANGAN

Walaupun membawa banyak keuntungan agronomi, penggunaan mulsa plastik perlu memperhatikan aspek lingkungan. Akumulasi residu plastik di tanah dapat menyebabkan polusi mikro plastik jangka panjang. Oleh karena itu, pengelolaan mulsa bekas daur ulang atau penggunaan mulsa *biodegradable* juga menjadi fokus penelitian ke depan. Alternatif seperti mulsa organik jerami, limbah tanaman atau mulsa plastik terdegradasi dapat dipertimbangkan untuk keberlanjutan. Namun secara

produktivitas, mulsa plastik tetap unggul dalam mengatasi kekurangan air dan gulma lahan kering.

V. PENUTUP

Penggunaan mulsa plastik dalam budidaya padi gogo pada lahan kering terbukti membawa banyak keuntungan. Mulsa plastik menekan gulma, menjaga kelembapan, dan meningkatkan produktivitas tanaman secara signifikan. Langkah – langkah praktis dalam pengaplikasiannya telah teruji dari persiapan lahan, penebaran mulsa, tanam bibit, hingga pemeliharaan, sehingga inovasi ini siap direplikasi di lapangan. Walaupun membutuhkan biaya cukup tinggi di awal, manfaat jangka panjang berupa hasil panen lebih tinggi dan pengurangan biaya operasional membuat inovasi ini layak direkomendasikan. Disarankan agar otoritas pertanian mendukung adopsi mulsa plastik, misalnya melalui sosialisasi dan bantuan teknis. Analisis biaya dan keberlanjutan lingkungan juga perlu dijadikan acuan agar implementasi mulsa plastik lebih terarah. Dengan demikian, mulsa plastik berpotensi menjadi solusi pengelolaan lahan kering yang berkelanjutan dan layak untuk di replikasi lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- BRIN. (2024). Optimasi SDG Lokal Tanaman Pangan Lahan Kering di Indonesia. *Badan Riset Dan Inovasi Nasional*.
<https://brin.go.id/orpp/posts/kabar/optimasi-sdg-lokal-tanaman-pangan-lahan-kering-di-indonesia>
- Direktorat Jenderal Tanaman Perkebunan Kementerian Pertanian. (2025). *Lumbung Pangan Baru : Lewat Tanam Padi Gogo , Jadikan Landak Tonggak Swasembada*. Direktorat Jenderal Perkebunan Kementerian Pertanian.
- Ilham, H. S., Udayana, C., & Suryanto, A. (2025). Penggunaan Sistem Pemberian Air dan Jenis Mulsa untuk Peningkatan Efisiensi Konversi Energi pada Tanaman Padi Gogo (*Oryza sativa* L .). *Jurnal Agrikultura*, 36(2), 284–296.
- Setiawan, S. R. D. (2022). Apa Manfaat Mulsa Plastik untuk Tanaman ? *Kompasiana*.
- Suherman, M. (2018). *Prosiding Seminar Nasional : Lingkungan, Ketahanan dan Keamanan Pangan : Optimalisasi Potensi Lingkungan Untuk Mewujudkan Ketahanan dan Keamanan Pangan*.
- Wang, L., Guo, S., Ge, T., Mancl, K. M., Hijri, M., Iseri, Y., Lee, S.-J., Feng, S., Wang, L., Ji, H., Sun, D., Wei, Z., Zhang, Y., Lu, P., Zhang, X., Yang, W., He, C., Zhang, J., Zhao, Y., ... Gan, G. Y. (2026). Plastic mulch productivity-sustainability tradeoffs and pathways toward an eco-friendly framework: insights from a global meta-

analysis. *Nature Communications*, 17(1), 1924.
<https://doi.org/10.1038/s41467-026-68798-2>

Yu, Y., Zhang, Y., Xiao, M., Zhao, C., & Yao, H. (2021). A meta-analysis of film mulching cultivation effects on soil organic carbon and soil greenhouse gas fluxes. *CATENA*, 206, 105483.
<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105483>

Peran Biostimulan dalam Meningkatkan Pertumbuhan, Produktivitas, dan Ketahanan Tanaman Hortikultura

Affan Prasetya¹, Pianto Ramadhan Prastio²

¹Program Studi Magister Terapan Ketahanan Pangan, Program Pascasarjana, Politeknik Negeri Lampung

²Program Magister Agroekoteknologi, Universitas Bengkulu, Jln. WR. Supratman, Bengkulu, 38121, Indonesia

RINGKASAN

Tanaman hortikultura memiliki nilai ekonomi tinggi serta berperan penting dalam penyediaan pangan bergizi bagi masyarakat. Namun, produktivitas tanaman hortikultura sering mengalami kendala akibat keterbatasan unsur hara dan cekaman lingkungan. Salah satu pendekatan inovatif yang berkembang dalam pertanian modern adalah penggunaan biostimulan tanaman. Biostimulan merupakan senyawa alami atau mikroorganisme yang mampu meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi, merangsang pertumbuhan tanaman, serta meningkatkan toleransi terhadap cekaman abiotik dan biotik. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara komprehensif peran biostimulan dalam meningkatkan pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas hasil tanaman hortikultura berdasarkan berbagai studi literatur terbaru. Hasil kajian menunjukkan bahwa biostimulan seperti ekstrak rumput laut, asam humat, protein hidrolisat, asam amino, serta mikroorganisme pemacu pertumbuhan tanaman mampu meningkatkan aktivitas fisiologis tanaman melalui stimulasi hormon pertumbuhan, peningkatan efisiensi fotosintesis, serta peningkatan aktivitas antioksidan. Selain itu, penggunaan biostimulan juga terbukti mampu meningkatkan kualitas hasil hortikultura seperti kandungan nutrisi, ukuran buah, dan umur simpan hasil panen. Dengan demikian, biostimulan berpotensi menjadi teknologi penting dalam mendukung sistem pertanian hortikultura yang berkelanjutan.

I. PENDAHULUAN

Tanaman hortikultura merupakan salah satu subsektor pertanian yang memiliki kontribusi penting terhadap ketahanan pangan, peningkatan gizi masyarakat, serta peningkatan pendapatan petani. Komoditas hortikultura meliputi berbagai tanaman seperti sayuran, buah-buahan, tanaman obat, dan tanaman hias yang memiliki nilai ekonomi tinggi di pasar domestik maupun internasional. Selain sebagai sumber pangan, tanaman hortikultura juga berperan penting dalam penyediaan berbagai senyawa bioaktif yang bermanfaat bagi kesehatan manusia, seperti vitamin, antioksidan, polifenol, dan karotenoid.

Meskipun memiliki potensi besar, produksi hortikultura sering menghadapi berbagai tantangan yang dapat menurunkan produktivitas dan kualitas hasil tanaman.

Faktor-faktor seperti penurunan kesuburan tanah, ketidakseimbangan nutrisi, perubahan iklim, serta meningkatnya tekanan cekaman abiotik dan biotik dapat menghambat pertumbuhan tanaman hortikultura (Yakhin *et al.*, 2017). Selain itu, penggunaan pupuk kimia secara berlebihan dalam jangka panjang dapat menyebabkan degradasi tanah dan menurunkan efisiensi penggunaan nutrisi oleh tanaman.

Dalam konteks tersebut, penggunaan biostimulan tanaman menjadi salah satu solusi inovatif yang dapat meningkatkan efisiensi produksi pertanian secara berkelanjutan. Biostimulan didefinisikan sebagai bahan biologis atau senyawa alami yang mampu merangsang proses fisiologis tanaman sehingga meningkatkan pertumbuhan, penyerapan nutrisi, serta toleransi terhadap cekaman lingkungan (du Jardin, 2015). Berbeda dengan pupuk yang menyediakan unsur hara secara langsung, biostimulan bekerja dengan cara mengaktifkan mekanisme metabolisme tanaman sehingga meningkatkan efisiensi penggunaan nutrisi yang tersedia di lingkungan.

Penggunaan biostimulan dalam sistem pertanian modern semakin meningkat karena terbukti mampu meningkatkan produktivitas tanaman sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap input kimia sintesis. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa biostimulan dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan efisiensi fotosintesis, memperbaiki sistem perakaran, serta meningkatkan kualitas hasil panen (Rouphael & Colla, 2020; Sible *et al.*, 2021).

II. MEKANISME KERJA

Biostimulan bekerja melalui berbagai mekanisme fisiologis dan biokimia yang kompleks dalam tanaman. Salah satu mekanisme utama biostimulan adalah stimulasi aktivitas hormon pertumbuhan tanaman seperti auksin, sitokinin, dan giberelin. Hormon-hormon tersebut berperan penting dalam mengatur pembelahan sel, pemanjangan sel, serta diferensiasi jaringan tanaman sehingga mendukung pertumbuhan vegetatif dan perkembangan organ tanaman (Colla *et al.*, 2017). Selain itu, biostimulan juga berperan dalam meningkatkan aktivitas fotosintesis melalui peningkatan kandungan klorofil dan efisiensi penggunaan cahaya. Peningkatan aktivitas fotosintesis ini memungkinkan tanaman menghasilkan lebih banyak energi dalam bentuk karbohidrat yang digunakan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Gonçalves *et al.*, 2025).

Biostimulan juga berperan dalam meningkatkan perkembangan sistem perakaran tanaman. Senyawa seperti asam humat dan asam fulvat diketahui mampu merangsang pembentukan akar lateral dan rambut akar sehingga meningkatkan luas permukaan akar yang dapat menyerap air dan unsur hara dari tanah (Canellas & Olivares, 2014). Sistem perakaran yang lebih berkembang memungkinkan tanaman meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara makro seperti nitrogen, fosfor, dan kalium.

Selain meningkatkan penyerapan nutrisi, biostimulan juga berperan dalam meningkatkan toleransi tanaman terhadap cekaman lingkungan. Dalam kondisi stres seperti kekeringan atau salinitas, tanaman menghasilkan spesies oksigen reaktif (ROS) yang dapat merusak sel tanaman. Biostimulan mampu meningkatkan aktivitas enzim antioksidan seperti superoksida dismutase, katalase, dan peroksidase yang berfungsi menetralkan ROS sehingga melindungi sel tanaman dari kerusakan oksidatif (Hasanuzzaman *et al.*, 2021).



Gambar 14. Mekanisme kerja biostimulan dalam meningkatkan pertumbuhan dan produktivitas tanaman hortikultura

III. MANFAAT BAGI TANAMAN

Berbagai penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biostimulan dapat memberikan berbagai manfaat bagi pertumbuhan dan produktivitas tanaman hortikultura. Salah satu manfaat utama biostimulan adalah meningkatkan pertumbuhan vegetatif tanaman. Aplikasi biostimulan berbasis ekstrak rumput laut diketahui mampu meningkatkan tinggi tanaman, jumlah daun, luas daun, serta biomassa tanaman pada berbagai tanaman hortikultura seperti tomat, mentimun, dan cabai (Sharma *et al.*, 2014).

Selain meningkatkan pertumbuhan vegetatif, biostimulan juga mampu meningkatkan produktivitas tanaman hortikultura. Penelitian menunjukkan bahwa aplikasi biostimulan dapat meningkatkan jumlah buah, berat buah, serta hasil panen secara signifikan pada berbagai komoditas hortikultura seperti tomat, stroberi, dan paprika (Drobek *et al.*, 2019). Biostimulan juga dapat meningkatkan kualitas hasil hortikultura. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biostimulan mampu meningkatkan kandungan vitamin, gula, serta senyawa antioksidan dalam buah dan sayuran (Kaya & Ugurlar, 2025).

Pada tomat, aplikasi ekstrak rumput laut dan protein hidrolisat dilaporkan meningkatkan ukuran buah, intensitas warna merah, kandungan likopen, vitamin C, dan total padatan terlarut ($^{\circ}\text{Brix}$). Pada stroberi, biostimulan berbasis asam humat dan mikroorganisme bermanfaat meningkatkan ukuran buah, kekerasan (*firmness*), kandungan antosianin, serta memperpanjang umur simpan. Sementara itu, pada ceri manis, aplikasi ekstrak rumput laut terbukti meningkatkan warna kulit buah, aktivitas antioksidan, dan kualitas pascapanen sehingga mengurangi kerusakan selama penyimpanan. Hasil serupa juga dilaporkan pada anggur, apel, dan paprika, di mana penggunaan biostimulan mampu meningkatkan warna buah, kandungan senyawa bioaktif, tekstur, dan daya simpan melalui peningkatan aktivitas antioksidan, pengaturan metabolisme karbon, serta perlambatan proses senesens. Perbaikan kualitas tersebut memberikan nilai tambah dan meningkatkan daya saing produk hortikultura di pasar (du Jardin & Bastías, 2020; Rouphael & Colla, 2020; Gonçalves *et al.*, 2024).

Secara keseluruhan, mulsa plastik menyinergikan berbagai faktor agronomi sehingga lahan kering dapat dikelola lebih efisien dan berkelanjutan. Teknologi ini menitikberatkan penggunaan sumber daya air dan tanah secara optimal, sesuai inti tujuan pengelolaan lahan kering.

IV. JENIS BAHAN

Biostimulan tanaman terdiri dari berbagai bahan alami maupun mikroorganisme yang memiliki kemampuan untuk merangsang proses fisiologis tanaman tanpa berfungsi sebagai sumber nutrisi utama. Berdasarkan sumber dan komposisinya, biostimulan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kelompok utama, yaitu ekstrak rumput laut, asam humat dan fulvat, protein hidrolisat dan asam amino, mikroorganisme pemacu pertumbuhan tanaman, serta senyawa organik lainnya seperti kitosan dan ekstrak tanaman (Rouphael & Colla, 2020; Bulgari *et al.*, 2015).

1. Ekstrak Rumput Laut (*Seaweed Extracts*)

Ekstrak rumput laut merupakan salah satu jenis biostimulan yang paling banyak digunakan dalam sistem pertanian hortikultura. Ekstrak ini umumnya berasal dari alga coklat seperti *Ascophyllum nodosum*, *Ecklonia maxima*, dan *Sargassum* spp. yang kaya akan senyawa bioaktif seperti hormon pertumbuhan, polisakarida, vitamin, asam amino, dan mineral (Khan *et al.*, 2009; Ali *et al.*, 2021). Senyawa bioaktif dalam ekstrak rumput laut diketahui mampu merangsang pembentukan hormon tanaman seperti auksin, sitokinin, dan giberelin yang berperan penting dalam pembelahan dan pemanjangan sel tanaman. Selain itu, polisakarida seperti alginat dan laminarin dapat meningkatkan aktivitas metabolisme tanaman serta memperkuat sistem pertahanan tanaman terhadap cekaman lingkungan (Mughunth *et al.*, 2024).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa aplikasi ekstrak rumput laut dapat meningkatkan pertumbuhan vegetatif, meningkatkan aktivitas fotosintesis, serta meningkatkan hasil tanaman hortikultura seperti tomat, mentimun, paprika, dan stroberi (Sandhya Rani *et al.*, 2024). Selain itu, ekstrak rumput laut juga diketahui mampu meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman abiotik seperti kekeringan dan salinitas melalui peningkatan aktivitas enzim antioksidan (Battacharyya *et al.*, 2015).

2. Asam Humat dan Asam Fulvat

Asam humat dan asam fulvat merupakan senyawa organik kompleks yang berasal dari proses dekomposisi bahan organik di dalam tanah. Senyawa ini termasuk komponen utama dalam bahan humus yang berperan penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman (Canellas & Olivares, 2014). Asam humat diketahui mampu meningkatkan pertumbuhan sistem perakaran tanaman dengan merangsang pembentukan akar lateral dan rambut akar. Hal ini meningkatkan luas permukaan akar sehingga tanaman dapat menyerap air dan unsur hara secara lebih efisien (Trevisan *et al.*, 2010).

Selain itu, asam humat juga mampu meningkatkan aktivitas enzim metabolisme tanaman serta memperbaiki struktur tanah sehingga meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Dalam tanaman hortikultura, aplikasi asam humat telah terbukti meningkatkan pertumbuhan dan hasil tanaman seperti mentimun, tomat, dan selada. Selain meningkatkan pertumbuhan vegetatif, asam humat juga dapat meningkatkan kualitas hasil panen seperti ukuran buah dan kandungan nutrisi (Kumar, 2018).

3. Protein Hidrolisat dan Asam Amino

Protein hidrolisat merupakan produk hasil hidrolisis protein yang mengandung berbagai asam amino dan peptida pendek yang berperan sebagai biostimulan tanaman. Senyawa ini dapat berasal dari bahan hewani maupun nabati, seperti limbah industri makanan, tanaman legum, atau produk samping pertanian (Colla *et al.*, 2015). Asam amino dalam protein hidrolisat berperan sebagai prekursor (senyawa awal pembentuk) dalam sintesis berbagai senyawa metabolit penting dalam tanaman, termasuk hormon pertumbuhan dan enzim metabolisme. Selain itu, asam amino juga dapat meningkatkan aktivitas fotosintesis serta meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen dalam tanaman (Malécange *et al.*, 2023).

4. Bakteri Rizosfer Pemacu Pertumbuhan Tanaman (PGPR)

Mikroorganisme pemacu pertumbuhan tanaman atau *Plant Growth Promoting Rhizobacteria* (PGPR)

merupakan kelompok bakteri yang hidup di daerah perakaran tanaman dan memiliki kemampuan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman melalui berbagai mekanisme biologis (Backer *et al.*, 2018). PGPR dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara melalui berbagai mekanisme seperti fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, dan produksi siderofor yang meningkatkan ketersediaan unsur besi bagi tanaman. Selain itu, PGPR juga mampu menghasilkan hormon pertumbuhan seperti auksin dan sitokinin yang merangsang pertumbuhan akar tanaman (Glick, 2012).

Selain meningkatkan pertumbuhan tanaman, PGPR juga berperan dalam meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen melalui mekanisme induksi ketahanan sistemik (*induced systemic resistance*). Dengan demikian, PGPR dapat berperan sebagai agen biostimulan sekaligus agen biokontrol dalam sistem pertanian hortikultura (Basu *et al.*, 2021).

5. Mikoriza

Mikoriza merupakan asosiasi simbiotik antara jamur tanah dan akar tanaman yang berperan penting dalam meningkatkan penyerapan unsur hara oleh tanaman. Jamur mikoriza membentuk jaringan hifa yang dapat memperluas area penyerapan akar sehingga tanaman dapat menyerap unsur hara yang sulit dijangkau oleh akar tanaman (Diagne *et al.*, 2020). Mikoriza sangat efektif dalam meningkatkan penyerapan fosfor, nitrogen, dan unsur mikro dari tanah. Selain itu, mikoriza juga dapat meningkatkan ketahanan tanaman terhadap cekaman kekeringan dan salinitas dengan meningkatkan efisiensi penggunaan air oleh tanaman (Rouphael & Colla, 2020).

Pada tanaman hortikultura seperti melon, tomat, dan cabai, aplikasi mikoriza terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan tanaman, meningkatkan produksi buah, serta meningkatkan kualitas hasil panen.

6. Kitosan dan Senyawa Bioaktif Lainnya

Kitosan merupakan polisakarida alami yang diperoleh dari deasetilasi kitin yang banyak ditemukan pada kulit udang dan kepiting. Senyawa ini memiliki kemampuan untuk merangsang sistem pertahanan tanaman serta meningkatkan pertumbuhan tanaman (Drobek *et al.*, 2019). Kitosan diketahui mampu meningkatkan aktivitas enzim antioksidan serta merangsang produksi senyawa pertahanan tanaman seperti fitoaleksin. Selain itu, kitosan juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman dengan meningkatkan aktivitas metabolisme dan fotosintesis tanaman (Chandrasekaran & Paramasivan, 2024). Selain kitosan, beberapa senyawa bioaktif lain seperti ekstrak tanaman, polisakarida mikroalga, serta senyawa organik lainnya juga banyak dikembangkan sebagai biostimulan dalam sistem pertanian hortikultura modern.

Tabel 4. Ringkasan jenis biostimulan, mekanisme kerja, dan manfaat pada tanaman hortikultura.

Jenis Biostimulan	Mekanisme Utama	Manfaat Utama
Ekstrak rumput laut	Meningkatkan fitohormon	Pertumbuhan dan hasil
Asam humat	Merangsang akar	Penyerapan hara
Protein hidrolisat	Meningkatkan metabolisme	Fotosintesis
PGPR	Fiksasi N, pelarutan P, fitohormon	Pertumbuhan dan ketahanan
Mikoriza	Memperluas daerah serapan akar	Serapan P dan toleransi cekaman
Kitosan	Menginduksi pertahanan tanaman	Ketahanan dan kualitas hasil

V. APLIKASI DI LAPANGAN

Dalam praktik budidaya hortikultura, biostimulan dapat diaplikasikan melalui berbagai metode, seperti aplikasi pada tanah, penyemprotan daun (*foliar spray*), maupun perlakuan benih (*seed treatment*). Pemilihan metode aplikasi biasanya disesuaikan dengan jenis biostimulan, jenis tanaman, serta tujuan penggunaan. Biostimulan berbasis mikroorganisme seperti bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (PGPR) biasanya diaplikasikan pada tanah atau melalui perlakuan benih untuk meningkatkan kolonisasi mikroba di daerah perakaran tanaman. Mikroorganisme tersebut dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara melalui proses fiksasi nitrogen, pelarutan fosfat, serta produksi hormon pertumbuhan tanaman (Backer *et al.*, 2018). Sementara itu, biostimulan berbasis ekstrak rumput laut atau protein hidrolisat umumnya diaplikasikan melalui penyemprotan daun untuk merangsang aktivitas fisiologis tanaman secara langsung. Metode ini memungkinkan senyawa aktif dalam biostimulan diserap langsung oleh jaringan daun sehingga memberikan respons yang lebih cepat terhadap pertumbuhan tanaman (Rouphael & Colla, 2020).

VI. KESIMPULAN

Biostimulan merupakan inovasi dalam budidaya hortikultura yang berperan meningkatkan pertumbuhan, produktivitas, dan kualitas hasil tanaman secara berkelanjutan. Berbeda dengan pupuk konvensional, biostimulan bekerja dengan merangsang proses fisiologis dan biokimia tanaman, seperti meningkatkan aktivitas hormon pertumbuhan, efisiensi fotosintesis, perkembangan sistem perakaran, serta ketahanan terhadap cekaman lingkungan. Selain meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, biostimulan juga mampu memperbaiki kualitas hasil panen, termasuk kandungan nutrisi, ukuran, warna, dan umur simpan.

Penggunaan biostimulan juga mendukung pengurangan ketergantungan pada pupuk kimia sintetis

sehingga membantu menjaga kesuburan tanah dan kelestarian lingkungan. Dengan berbagai manfaat tersebut, biostimulan berpotensi menjadi teknologi pendukung pertanian hortikultura yang berkelanjutan dalam menghadapi tantangan perubahan iklim dan degradasi lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, O., Ramsubhag, A., & Jayaraman, J. (2021). Biostimulant Properties of Seaweed Extracts in Plants: Implications towards Sustainable Crop Production. *Plants*, 10(3), 531. <https://doi.org/10.3390/plants10030531>
- Backer, R., Rokem, J. S., Ilangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant Growth-Promoting Rhizobacteria: Context, Mechanisms of Action, and Roadmap to Commercialization of Biostimulants for Sustainable Agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>
- Basu, A., Prasad, P., Das, S. N., Kalam, S., Sayyed, R. Z., Reddy, M. S., & Enshasy, H. El. (2021). Plant growth promoting rhizobacteria (Pgpr) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects. *Sustainability (Switzerland)*, 13(3), 1–20. <https://doi.org/10.3390/su13031140>
- Battacharyya, D., Babgohari, M. Z., Rathor, P., & Prithiviraj, B. (2015). Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 39–48. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.012>
- Bulgari, R., Cocetta, G., Trivellini, A., Vernieri, P., & Ferrante, A. (2015). Biostimulants and crop responses: A review. *Biological Agriculture and Horticulture*, 31(1), 1–17. <https://doi.org/10.1080/01448765.2014.964649>
- Canellas, L. P., & Olivares, F. L. (2014). Physiological responses to humic substances as plant growth promoter. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2014 1:1, 1(1), 3-. <https://doi.org/10.1186/2196-5641-1-3>
- Chandrasekaran, M., & Paramasivan, M. (2024). Chitosan derivatives act as a bio-stimulants in plants: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 271, 132720. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132720>
- Colla, G., Hoagland, L., Ruzzi, M., Cardarelli, M., Bonini, P., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2017). Biostimulant action of protein hydrolysates: Unraveling their effects on plant physiology and microbiome. *Frontiers in Plant Science*, 8, 327435. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02202>
- Colla, G., Nardi, S., Cardarelli, M., Ertani, A., Lucini, L., Canaguier, R., & Rouphael, Y. (2015). Protein hydrolysates as biostimulants in horticulture. *Scientia*

- Horticulturae*, 196, 28–38.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.08.037>
- Diagne, N., Ngom, M., Djighaly, P. I., Fall, D., Hoher, V., & Svistoonoff, S. (2020). Roles of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Plant Growth and Performance: Importance in Biotic and Abiotic Stressed Regulation. *Diversity* 2020, Vol. 12, Page 370, 12(10), 370.
<https://doi.org/10.3390/d12100370>
- Drobek, M., Frąc, M., & Cybulska, J. (2019). Plant Biostimulants: Importance of the Quality and Yield of Horticultural Crops and the Improvement of Plant Tolerance to Abiotic Stress—A Review. *Agronomy* 2019, Vol. 9, Page 335, 9(6), 335.
<https://doi.org/10.3390/agronomy9060335>
- du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196(11), 3–14.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.021>
- Glick, B. R. (2012). Plant growth-promoting bacteria: mechanisms and applications. *Scientifica*, 2012, 1–15.
<https://doi.org/10.6064/2012/963401>
- Gonçalves, B., Santos, M., Silva, V., Rodrigues, A., Oliveira, I., Lopes, T., Sujeeth, N., & Guinan, K. J. (2025). Biostimulants in Fruit Crop Production: Impacts on Growth, Yield, and Fruit Quality. *Horticulturae*, 11(12).
<https://doi.org/10.3390/horticulturae11121452>
- Hasanuzzaman, M., Parvin, K., Bardhan, K., Nahar, K., Anee, T. I., Masud, A. A. C., & Fotopoulos, V. (2021). Biostimulants for the Regulation of Reactive Oxygen Species Metabolism in Plants under Abiotic Stress. *Cells* 2021, Vol. 10, Page 2537, 10(10), 2537.
<https://doi.org/10.3390/cells10102537>
- Kaya, C., & Ugurlar, F. (2025). Non-microbial Biostimulants for Quality Improvement in Fruit and Leafy Vegetables. Growth Regulation and Quality Improvement of Vegetable Crops: *Physiological and Molecular Features*, 457–494. https://doi.org/10.1007/978-981-96-0169-1_16
- Khan, W., Rayirath, U. P., Subramanian, S., Jithesh, M. N., Rayorath, P., Hodges, D. M., Critchley, A. T., Craigie, J. S., Norrie, J., & Prithiviraj, B. (2009). Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*, 28(4), 386–399.
<https://doi.org/10.1007/s00344-009-9103-x>
- Kumar, A. (2018). Effect of Humic substances on soil properties and crop production: A critical review K Arun Kumar. ~ 1933 ~ *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 7(3).
- Malécange, M., Sergheraert, R., Teulat, B., Mounier, E., Lothier, J., & Sakr, S. (2023). Biostimulant Properties of Protein Hydrolysates: Recent Advances and Future Challenges. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), 9714.
<https://doi.org/10.3390/ijms24119714>
- Mughunth, R. J., Velmurugan, S., Mohanalakshmi, M., & Vanitha, K. (2024). A review of seaweed extract's potential as a biostimulant to enhance growth and mitigate stress in horticulture crops. *Scientia Horticulturae*, 334, 113312.
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113312>
- Rouphael, Y., & Colla, G. (2020). Toward a Sustainable Agriculture Through Plant Biostimulants: From Experimental Data to Practical Applications. *Agronomy* 2020, Vol. 10, Page 1461, 10(10), 1461.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10101461>
- Sandhya Rani, V., Malliswara Reddy, A., Author, C., & Sandhya Rani, V. (2024). Effect of seaweed extract on growth, yield and quality in different field crops: A review. ~ 76 ~ *International Journal of Research in Agronomy*, 7(3).
<https://doi.org/10.33545/2618060X.2024.v7.i3b.381>
- Sharma, H. S. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. R., & Martin, T. (2014). Plant biostimulants: A review on the processing of macroalgae and use of extracts for crop management to reduce abiotic and biotic stresses. *Journal of Applied Phycology*, 26(1), 465–490.
<https://doi.org/10.1007/s10811-013-0101-9>
- Sible, C. N., Seebauer, J. R., & Below, F. E. (2021). Plant Biostimulants: A Categorical Review, Their Implications for Row Crop Production, and Relation to Soil Health Indicators. *Agronomy* 2021, Vol. 11, Page 1297, 11(7), 1297.
<https://doi.org/10.3390/agronomy11071297>
- Trevisan, S., Pizzeghello, D., Ruperti, B., Francioso, O., Sassi, A., Palme, K., Quaggiotti, S., & Nardi, S. (2010). Humic substances induce lateral root formation and expression of the early auxin-responsive IAA19 gene and DR5 synthetic element in Arabidopsis. *Plant Biology (Stuttgart, Germany)*, 12(4), 604–614.
<https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2009.00248.x>
- Yakhin, O. I., Lubyanov, A. A., Yakhin, I. A., & Brown, P. H. (2017). Biostimulants in plant science: A global perspective. *Frontiers in Plant Science*, 7, 238366.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2016.02049>

Mekanisasi Kultivasi : Solusi Rehabilitasi Lahan Perkebunan Teh

Elia Laila Rizqiyah, Restu Wulansari, Gina Nur'aini Buchory, Erdiansyah Rezamela

Pusat Penelitian Teh dan Kina, PT. Riset Perkebunan Nusantara
Mekarsari, Pasirjambu, Kab. Bandung, Jawa Barat. secretariat@irirc.org

RINGKASAN

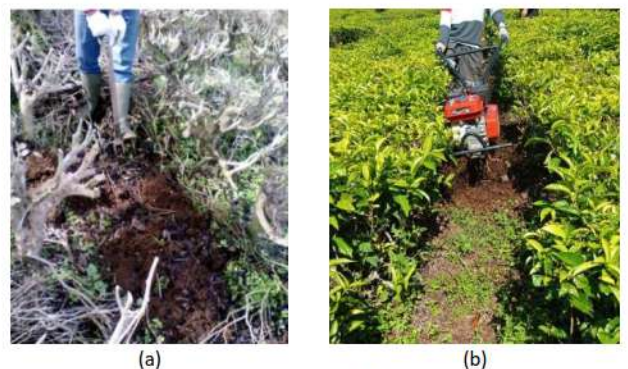
Produktivitas teh di Indonesia saat ini mengalami penurunan akibat praktik budidaya tanaman teh yang tidak memenuhi kaidah GAP (*Good Agriculture Practices*). Budidaya jangka panjang pada lahan yang sama menyebabkan degradasi tanah, terutama pemadatan tanah, sehingga diperlukan pengolahan tanah (kultivasi). Kultivasi pada lahan perkebunan teh yang sebelumnya dilakukan secara manual dengan menggunakan garpu kini telah beralih ke metode mekanis. Penerapan mekanisasi tersebut bertujuan meningkatkan efisiensi, mempercepat proses pengolahan lahan, serta mendukung produktivitas usaha perkebunan teh. Hasil pengukuran lapangan menunjukkan kultivasi mekanis dapat meningkatkan proses infiltrasi yang awalnya dibutuhkan waktu 36 detik setelah 6, 9, 12 bulan pasca kultivasi menjadi 14, 18, 32 detik. Selain itu perkembangan akar khususnya akar serabut (*feeder root*) juga meningkat ditandai dengan peningkatan densitas akar. Densitas akar paling tinggi pada 12 bulan pasca kultivasi yaitu $1,93 \text{ kg/m}^3$ sedangkan densitas *feeder root* sebesar $1,45 \text{ kg/m}^3$. Kondisi tanah yang ideal dan perkembangan akar yang optimal meningkatkan kadar hara tanah dan jaringan daun khususnya unsur hara Nitrogen. Namun, kultivasi mekanis tidak dianjurkan dilakukan terlalu intensif karena dibutuhkan waktu untuk regenerasi akar yang terputus. Oleh karena itu, kultivasi sebaiknya dilakukan satu kali dalam setiap daur pangkas (± 4 tahun), bersamaan dengan kegiatan pemangkasan.

I. PENDAHULUAN

Data Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukkan produksi teh kering di Indonesia mengalami penurunan dalam periode 2021–2024. Produksi menurun dari 137.837 ton pada tahun 2021 menjadi 118.895 ton pada tahun 2024, meskipun terjadi sedikit peningkatan dibandingkan tahun 2023 (116.506 ton). Penurunan ini salah satunya diakibatkan praktik budidaya yang tidak memenuhi kaidah *Good Agriculture Practices* (GAP). GAP mencakup pengelolaan tanah, air, tanaman, dan lingkungan secara berkelanjutan. Lahan perkebunan teh umumnya sudah digunakan dalam kurun waktu lama bahkan hingga ratusan tahun sehingga degradasi lahan dapat terjadi. Salah satu aspek yang harus diperhatikan dalam GAP adalah pengolahan tanah. Tanah yang tidak dikelola dengan baik cenderung mengalami pemadatan, menurunnya aerasi, serta berkurangnya infiltrasi air dan ketersediaan oksigen di

zona perakaran (Liu *et al.*, 2021). Selain itu, perkembangan akar dapat terganggu sehingga penyerapan unsur hara tidak optimal (Peralta *et al.*, 2021). Akibatnya, meskipun kandungan hara dalam tanah tergolong tinggi, tanaman tidak mampu menyerap unsur hara secara optimal. Indikatornya dapat terlihat dari rendahnya kandungan hara dalam jaringan daun. Ketidakefektifan penyerapan unsur hara akibat pemadatan tanah berimplikasi langsung pada hasil panen pucuk teh (Wang *et al.*, 2026). Oleh karena itu, diperlukan upaya pengolahan tanah (kultivasi) untuk rehabilitasi tanah dan regenerasi akar. Penelitian Wang *et al.*, (2026) menunjukkan bahwa lahan perkebunan teh yang diolah menunjukkan adanya peningkatan pertumbuhan akar dan perbaikan struktur tanah. Praktik pengolahan tanah pada budidaya teh terdahulu umumnya menggunakan cara manual yaitu garpu tanah baik dengan metode garpu rentat maupun garpu balik (Fitri *et al.*, 2025).

Seiring perkembangan waktu, praktik ini mengalami kendala berupa keterbatasan tenaga kerja, lamanya waktu, dan tingginya biaya yang harus dikeluarkan untuk lahan perkebunan yang luas. Sehingga, mekanisasi kultivasi menjadi solusi untuk permasalahan tersebut. Pengolahan tanah secara mekanis dan intermiten menunjukkan perbaikan struktur tanah dan penyerapan air (Liu *et al.*, 2021). Perbedaan pengolahan tanah secara manual dan mekanis disampaikan pada Gambar 15. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui manfaat pengolahan tanah secara mekanis bagi struktur tanah dan perkembangan akar di lahan perkebunan teh serta selang waktu yang tepat untuk dilakukan kultivasi.



Gambar 15. (a) Penggarpuan manual (b) Kultivasi mekanis di perkebunan teh Jawa Barat

II. MANFAAT KULTIVASI MEKANIS TERHADAP REHABILITASI TANAH

Degradasi lahan di perkebunan teh umumnya diakibatkan oleh adanya eksploitasi biomassa secara terus

menerus yang tidak diimbangi dengan input unsur hara. Oleh karena itu unsur hara dan bahan organik di dalam tanah mengalami penurunan. Penurunan tersebut menyebabkan struktur tanah melemah dan kesuburan tanah menurun (Wulansari & Pranoto, 2019). Bahan organik berfungsi sebagai perekat agregat tanah. Struktur tanah merupakan aspek yang sangat penting dalam menunjang daya dukung tanah karena sangat mempengaruhi porositas dan infiltrasi tanah serta menahan air sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Afner *et al.*, 2021). Degradasi fisik tanah pada lahan perkebunan teh ditandai dengan adanya kompaksi (pemadatan) tanah dan penurunan struktur pori tanah, akibatnya pertumbuhan akar tanaman terhambat, penurunan infiltrasi, penurunan aerasi tanah, dan penurunan aktivitas mikroorganisme tanah (Wang *et al.*,

2026). Tanaman dengan perakaran dalam seperti teh sangat sensitif terhadap pemadatan tanah (Gao *et al.*, 2016). Oleh karena itu, perlu adanya proses pengolahan tanah atau kultivasi. Kultivasi didefinisikan sebagai kegiatan mekanis yang bertujuan untuk menggemburkan tanah sehingga mendukung pertumbuhan dan perkembangan akar tanaman serta berkaitan dengan tindakan konservasi tanah dan air (Pramudiono *et al.*, 2024). Pada kultivasi terdapat proses pembalikan tanah sehingga dapat memperbaiki struktur dan kemampuan tanah dalam mempertukarkan air dan udara. Hal ini sesuai dengan data lapangan pada Tabel 5. kegiatan kultivasi dapat mempengaruhi sifat tanah khususnya infiltrasi dan kadar bahan organik.

Tabel 4. Ringkasan jenis biostimulan, mekanisme kerja, dan manfaat pada tanaman hortikultura

Sifat		Non Kultivator	Kultivator		
			6 bulan	9 bulan	12 bulan
Fisika Tanah	Tekstur Tanah	Lempung Liat Berpasir	Lempung Liat Berpasir	Lempung Liat Berpasir	Lempung Liat Berpasir
	Kestabilan Agregat Tanah	Sangat Mantap	Sangat Mantap	Sangat Mantap	Sangat Mantap
	Infiltrasi Tanah (d/100ml)	36	14	18	32
Kimia Tanah	Bahan Organik Tanah	++	++++	+++	++++
	pH Tanah	5,8	5,5	6	5,7
Biologi Tanah	Tutupan Vegetasi Lahan	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat
	Banyaknya Perakaran	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi
	Populasi Cacing Tanah	-	-	4	-
Indeks Kesehatan Tanah (IKT)		70	69,5	72,5	70,5
Kategori :		Sehat	Sehat	Sehat	Sehat

Keterangan : semakin banyak tanda + pada parameter bahan organik menunjukkan kadar semakin tinggi, Kategori kesehatan tanah : 10–30 (Sakit), 31–60 (Sedang), 61–90 (Sehat)

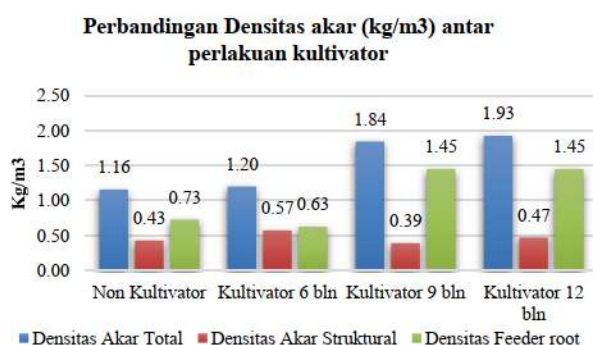
Perlakuan kultivator tidak memberikan perbedaan hasil yang jauh pada parameter kestabilan agregat dan pH namun memberikan perbedaan hasil infiltrasi dimana tanah yang dikultivasi mempunyai infiltrasi yang lebih cepat. Hal ini mengindikasikan bahwa proses kultivasi mampu memperbaiki struktur tanah, khususnya dalam hal porositas dan agregasi tanah. Porositas yang baik dapat meresapkan air lebih cepat ke dalam profil tanah. Penelitian Amami *et al.*, (2021) menunjukkan lahan yang dikultivasi memiliki laju infiltrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan lahan yang tidak dikultivasi. Pada lahan yang dikultivasi tanah mempunyai sifat yang lebih porous dan struktur yang lebih gembur sehingga air dapat meresap lebih cepat. Infiltrasi adalah proses masuknya air ke badan tanah, infiltrasi yang optimal dapat menjaga kelembapan tanah sehingga air dapat dimanfaatkan oleh tanaman yang berimplikasi pada peningkatan hasil panen pucuk teh (Lu *et al.*, 2019). Infiltrasi yang optimal juga dapat mengurangi adanya aliran permukaan sehingga erosi dapat dicegah. Selain itu, pada lahan yang dikultivasi kadar bahan organik juga semakin tinggi. Proses kultivasi membantu mempercepat dekomposisi bahan organik, mempercepat proses

pencampuran residu tanaman ke dalam lapisan tanah atas, dan meningkatkan aktivitas organisme tanah (Haddaway *et al.*, 2017). Kandungan bahan organik yang lebih tinggi ini turut menunjang struktur tanah yang lebih baik, kemampuan menahan air, serta meningkatkan aktivitas mikroorganisme tanah. Namun, pengolahan tanah yang terlalu intensif justru dapat menurunkan kadar bahan organik sehingga pengolahan tanah harus dilaksanakan dengan kaidah yang benar dengan disesuaikan pada kondisi lahan.

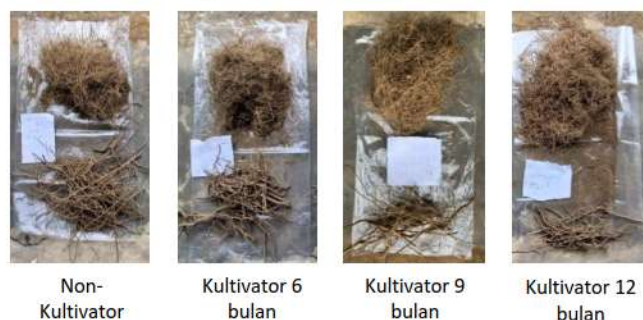
III. MANFAAT KULTIVASI MEKANIS TERHADAP REGENERASI AKAR

Tanaman teh memiliki struktur akar sangat kompleks, yang terdiri dari 2 jenis yaitu akar struktural dan akar serabut (*feeder root*) (Carr, 2018). Akar struktural berfungsi untuk menopang tanaman dan penyimpanan pati serta akar serabut atau yang umum disebut dengan akar aktif berfungsi untuk penyerapan nutrisi dan air. Faktor yang mempengaruhi sebaran akar tanaman teh yaitu bahan tanam, umur tanaman, kekerasan tanah, sifat kimia tanah,

teknik budidaya, irigasi, naungan, dan aplikasi pemupukan (Yamashita, 1994; Carr, 2018). Kekerasan tanah mempengaruhi pertumbuhan akar khususnya *feeder root*, pada tanah yang gembur pertumbuhan akar struktural dominan ke arah dalam dan komposisi *feeder root* dominan ke arah dalam (Yamashita, 1994). Namun, perlu diperhatikan pula bahwa tanah yang terlalu gembur juga tidak mendukung perkembangan tanah karena akar kehilangan media untuk dicengkeram. Tanaman teh yang berumur tua juga dapat mengalami penuaan akar yang akan berdampak pada perkembangan tanaman (Fitri *et al.*, 2025). Sehingga diperlukan upaya untuk memicu regenerasi akar dan merehabilitasi kepadatan tanah melalui kultivasi. Pembalikan tanah saat proses kultivasi akan membuat akar-akar tanaman tua juga ikut terpotong, selanjutnya akan diregenerasi oleh akar baru. Hal ini sesuai dengan hasil yang diperoleh pada Gambar 16., kegiatan kultivasi dapat meningkatkan densitas akar. Pada Gambar 17. juga dapat dilihat perbedaan komposisi struktur akar pada lahan yang dikultivasi dan tidak dikultivasi khususnya *feeder root*.



Gambar 16. Hasil pengukuran densitas akar tanaman teh di perkebunan teh Jawa Barat



Gambar 17. Sampel akar pada masing-masing perlakuan

Kultivator meningkatkan densitas akar dengan didominasi *feeder root*. Pada kultivator 6 bulan akar masih beregenerasi, seiring berjalannya waktu akar baru terbentuk sehingga densitasnya meningkat pada bulan ke-12. Tanah merupakan sumber nutrisi utama bagi tanaman, sedangkan akar adalah gerbang utama bagi unsur hara yang akan masuk ke dalam badan tanaman untuk selanjutnya berguna bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Lyzenga *et al.*, 2023). Dalam hal ini, serangkaian sistem transportasi nutrisi

tanaman, sensor, dan protein pemberi sinyal berfungsi dalam memperoleh nutrisi mineral melalui akar. Tanaman membutuhkan struktur akar yang dinamis untuk memperoleh air dan nutrisi. Kedinamisan perkembangan struktur akar dipengaruhi oleh lingkungan dan metabolisme tanaman sehingga percabangan akar dapat memperoleh makanan (Duque & Villordon, 2019). Proses kultivasi memutus perakaran tua, seiring berjalannya waktu apabila nutrisi tanaman terpenuhi dan didukung dengan kondisi tanah yang gembur akar baru akan tumbuh dengan didominasi akar aktif (*feeder root*). Pengaruh kultivasi dapat ditingkatkan dengan penambahan pupuk terutama pupuk organik (Salim, 2003 cit Fitri *et al.*, 2025). Karena untuk membentuk struktur akar yang baru tanaman teh membutuhkan nutrisi yang dapat diperoleh melalui pemupukan. Pupuk organik dapat menunjang perbaikan sifat tanah sehingga pembentukan akar baru lebih optimal. Maka penyerapan nutrisi oleh tanaman juga akan lebih efektif dan efisien. Namun, pelaksanaan kultivasi pada lahan perkebunan teh juga tidak boleh terlalu intensif dan terlalu sering. Hal ini dikarenakan perkembangan struktur akar tanaman teh bersifat tahunan (Carr, 2018). Sehingga setelah proses pemutusan akar perkembangan akar tanaman teh terlihat jelas pada 1 tahun pasca kultivasi terutama *feeder root*. Di perkebunan teh Indonesia, pengolahan tanah umumnya dilakukan dengan metode *minimum tillage* yang disesuaikan, yaitu pengolahan yang dilakukan seperlunya sesuai kebutuhan (Fitri *et al.*, 2025). Kegiatan kultivasi akan lebih efektif jika dilaksanakan bersamaan dengan satu siklus pemangkasan (4 tahun) agar tujuan utama pengolahan tanah dapat tercapai. Kedalaman tanah yang digarpu berkisar antara 15-20 cm.

IV. MANFAAT KULTIVASI MEKANIS TERHADAP STATUS HARA TANAH DAN DAUN

Kultivasi mekanis pada lahan perkebunan teh merupakan kegiatan rekayasa media tanam untuk menciptakan kondisi yang ideal bagi perkembangan tanaman teh. Pengolahan tanah yang tepat adalah aspek penting untuk menjaga kesuburan tanah dan produktivitas tanaman teh (Pramudiono *et al.*, 2024). Pada pelaksanaan kultivasi dilakukan pembalikan tanah dan pemutusan akar tua. Tujuan dari kultivasi adalah memperbaiki struktur tanah dan regenerasi akar untuk mendukung penyerapan unsur hara oleh tanaman. Apabila kondisi tanah ideal maka sifat-sifat tanah yang lain juga mengalami perbaikan, salah satunya status hara tanah. Saat kultivasi aktivitas mikroorganisme meningkat dan sebaran bahan organik merata sehingga penyediaan unsur hara di dalam tanah juga meningkat. Hal ini sesuai dengan hasil pengukuran status hara tanah di lahan yang tidak dikultivator dan yang dikultivator pada Tabel 5. berikut.

Tabel 5. Hasil pengukuran status hara tanah pada lahan yang dikultivator dan tidak dikultivator

Parameter Status Hara Tanah	Kadar Air (%)	pH	N-total (%)	Fosfor (ppm)	Kalium (%)	C/N
Non-Kultivator	3,30	5,26	0,77-T	3,61-SR	0,16-SR	8-R
Kultivator 6 bulan	3,22	5,32	0,6-T	11,8-S	0,26-SR	10-R
Kultivator 9 bulan	3,56	5,24	0,84-ST	6,37-R	0,25-SR	8-R
Kultivator 12 bulan	3,78	5,31	0,83-ST	5,3-R	0,19-SR	7-R

Keterangan : Sangat Rendah (SR), Rendah (R), Sedang (S), Tinggi (T), Sangat Tinggi (ST)

Perlakuan kultivator meningkatkan Kadar Air, N-total, Fosfor, dan Kalium di dalam tanah. Peningkatan kadar air tanah terjadi karena meningkatnya laju infiltrasi sehingga air dapat diserap ke badan tanah (Amami *et al.*, 2021). Kultivasi juga meningkatkan kemampuan tanah untuk mempertukarkan udara sehingga aktivitas mikroorganisme tanah meningkat (Wang *et al.*, 2026). Mikroorganisme tanah berperan untuk menyeimbangkan pH tanah, kadar nitrogen, fosfor, kalium tanah (Mangunsong *et al.*, 2019). Unsur hara di dalam tanah ini nantinya yang akan diserap oleh tanaman dan digunakan untuk pertumbuhan dan perkembangannya. Regenerasi akar dan peningkatan densitas *feeder root* akan mengoptimalkan penyerapan hara tanah. Apabila kondisi akar baik dan sehat maka hara yang terserap ke jaringan tanaman juga lebih tinggi. Kadar unsur hara daun dapat menjadi indikator efektivitas serapan hara oleh tanaman. Hasil pengukuran kadar hara jaringan daun pada lahan yang tidak dikultivator dan yang dikultivator disajikan pada Tabel 6. berikut ini.

Tabel 6. Hasil pengukuran status hara jaringan daun pada lahan yang dikultivator dan tidak dikultivator

Parameter Status Hara Daun	Nitrogen	Fosfor (Fosfat)	Kalium	Magnesium	Rasio N/K
Non-Kultivator	2,78-SR	0,22-T	0,87-SR	0,34-ST	3,24
Kultivator 6 bulan	2,67-SR	0,18-R	0,78-SR	0,33-ST	3,41
Kultivator 9 bulan	2,87-SR	0,20-S	0,72-SR	0,35-ST	3,98
Kultivator 12 bulan	2,92-R	0,18-R	1,18-R	0,35-ST	2,47

Keterangan : Sangat Rendah (SR), Rendah (R), Sedang (S), Tinggi (T), Sangat Tinggi (ST)

Penggunaan kultivator terbukti mampu meningkatkan kandungan nitrogen (N) pada daun teh. Nitrogen merupakan unsur hara esensial yang berperan penting dalam mendukung pertumbuhan vegetatif tanaman, terutama pembentukan tunas dan pucuk baru. Sebagian besar nitrogen yang diserap tanaman terakumulasi pada daun, kemudian diikuti oleh batang dan akar (Khan *et al.*, 2025). Hasil analisis menunjukkan bahwa nitrogen merupakan unsur hara dengan kandungan tertinggi pada jaringan daun teh. Peningkatan kandungan nitrogen pada

tanaman yang tumbuh di lahan yang dikultivasi mengindikasikan bahwa pengolahan tanah dengan kultivator mampu meningkatkan efektivitas penyerapan hara, khususnya unsur hara yang bersifat mobil seperti nitrogen. Meskipun peningkatan serapan belum terlihat pada unsur hara lainnya, kandungannya relatif tidak berbeda dengan tanaman pada lahan yang tidak dikultivasi. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan kultivator memberikan manfaat utama dalam meningkatkan ketersediaan dan serapan nitrogen tanpa menurunkan status hara unsur lainnya.

V. PENUTUP

Kultivasi secara mekanis merupakan teknologi yang efektif untuk merehabilitasi lahan perkebunan teh yang telah dibudidayakan dalam jangka panjang. Perlakuan kultivasi mampu meningkatkan laju infiltrasi tanah, yang semula memerlukan waktu 36 detik/100 mL pada lahan tanpa kultivasi menjadi 14 detik, 18 detik, dan 32 detik/100 mL masing-masing pada 6, 9, dan 12 bulan setelah kultivasi. Perbaikan kondisi fisik tanah tersebut diikuti dengan peningkatan densitas akar total dari 1,16 kg/m³ pada lahan tanpa kultivasi menjadi 1,20 kg/m³, 1,84 kg/m³, dan mencapai 1,93 kg/m³ pada 12 bulan setelah kultivasi, dengan densitas *feeder root* tertinggi sebesar 1,45 kg/m³. Kondisi tersebut berkontribusi terhadap meningkatnya status hara tanah, terutama N-total yang naik dari 0,77% menjadi 0,83–0,84%, serta peningkatan kandungan nitrogen daun dari 2,78% menjadi 2,92% pada 12 bulan setelah kultivasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kultivasi mekanis tidak hanya memperbaiki sifat fisik tanah, tetapi juga meningkatkan efektivitas penyerapan unsur hara sehingga berpotensi mendukung produktivitas tanaman teh secara berkelanjutan. Untuk memperoleh manfaat yang optimal sekaligus memberi kesempatan terjadinya regenerasi akar, kultivasi mekanis direkomendasikan dilakukan secara intermiten, yaitu satu kali dalam setiap daur pangkas (± 4 tahun) bersamaan dengan kegiatan pemangkasan.

DAFTAR PUSTAKA

- Afner, D. D. P., Aprisal, A., & Yulnafatmawita. (2021). Indeks stabilitas agregat tanah pada perkebunan teh berbasis slope dan umur tanaman di Kecamatan Gunung Talang, Kabupaten Solok. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 8(1), 75–81. <https://doi.org/10.21776/ub.jtsl.2021.008.1.10>.
- Amami, R., Ibrahim, K., Sher, F., Milham, P., Ghazouani, H., Chehaibi, S., Hussain, Z., & Iqbal, H. M. N. (2021). Impacts of different tillage practices on soil water infiltration for sustainable agriculture. *Sustainability*, 13(6), 3155. <https://doi.org/10.3390/su13063155>.

- Carr, M. K. V. (2018). *Advances in tea agronomy*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316155714.010>.
- Duque, L. O., & Villordon, A. (2019). Root branching and nutrient efficiency: Status and way forward in root and tuber crops. *Frontiers in Plant Science*, 10, 237. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00237>.
- Fitri, I., Rezamela, E., Buchory, G. N., Athallah, F. N. F., Rizqiyah, E. L., & Prayoga, M. K. (2025). Pengaruh penggarpuan tanah terhadap pertumbuhan akar tanaman teh. *Jurnal Sains Teh dan Kina*, 4(1), 35–43. <https://doi.org/10.22302/pptk.jur.jstk.v4i1.20>.
- Gao, W., Hodgkinson, L., Jin, K., Watts, C. W., Ashton, R. W., Shen, J., Ren, T., Dodd, I. C., Binley, A., Phillips, A. L., Hedden, P., Hawkesford, M. J., & Whalley, W. R. (2016). Deep roots and soil structure. *Plant, Cell & Environment*, 39(8), 1662–1668. <https://doi.org/10.1111/pce.12684>.
- Haddaway, N. R., Hedlund, K., Jackson, L. E., Katterer, T., Lugato, E., Thomsen, I. K., Jorgensen, H. B., & Isberg, P.-E. (2017). How does tillage intensity affect soil organic carbon? A systematic review. *Environmental Evidence*, 6(1), 30. <https://doi.org/10.1186/s13750-017-0108-9>.
- Khan, A., Peng, C., Chen, K., & Ma, X. (2025). Multi-split nitrogen application via drip irrigation improved dry matter accumulation, nitrogen uptake and utilization efficiency in flue-cured tobacco. *BMC Plant Biology*, 25, 674. <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06728-y>.
- Liu, Z., Cao, S., Sun, Z., Wang, H., Qu, S., Lei, N., He, J., & Dong, Q. (2021). Tillage effects on soil properties and crop yield after land reclamation. *Scientific Reports*, 11, 4611. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-84191-z>.
- Lu, Y. Z., Liu, P. F., Montazar, A., Paw U, K. T., & Hu, Y. G. (2019). Soil water infiltration model for sprinkler irrigation control strategy: A case for tea plantation in Yangtze River Region. *Agriculture*, 9(10), 206. <https://doi.org/10.3390/agriculture9100206>.
- Lyzenga, W. J., Liu, Z., Olukayode, T., Zhao, Y., Kochian, L. V., & Ham, B. K. (2023). Getting to the roots of N, P, and K uptake. *Journal of Experimental Botany*, 74(6), 1784–1805. <https://doi.org/10.1093/jxb/erad035>.
- Peralta, G., Alvarez, C. R., & Taboada, M. A. (2021). Soil compaction alleviation by deep non-inversion tillage and crop yield responses in no-tilled soils of the Pampas region of Argentina: A meta-analysis. *Soil and Tillage Research*, 211, 105022. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105022>.
- Pramudiono, D. D., Athallah, F. N. F., Wulansari, R., & Utami, S. N. H. (2024). Review: Pengolahan tanah di lahan perkebunan tanaman teh (*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze). *ResearchGate*. <https://www.researchgate.net/publication/377850416>.
- Wang, W., Liu, W., Ma, J., Zhang, H., Yang, Z., Wang, Y., Wang, M., & Liu, D. (2026). Soil compaction restricts tea growth through nutrient limitation and oxidative stress, associated with flavonoid metabolic changes: A four-year field trial. *European Journal of Agronomy*, 175, 128012. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2026.128012>.
- Wulansari, R., & Pranoto, E. (2019). Degradasi bahan organik di beberapa perkebunan teh di Jawa Barat. *Jurnal Sains Teh dan Kina*, 21(2), 57–64.
- Yamashita, M. (1994). Root system formation in clonal tea plants. *Japan Agricultural Research Quarterly*, 28(1), 26–35.

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 :** Ani Susilawati, S.P., M.Sc; Mety Maryanti, S.P; Yola Septiana Dewi, S.I.Kom; **Sekretariat :** Ferdiana Ayu Cahyaningtyas, A.Md; **Desain Sampul & Penata Isi :** Andriyan Priyatna, S.I.Kom; Arifin Al Amiri Maswar, S.E

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. Pvt. 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.

INFO KONTAK

Kampus Penelitian Pertanian, Cimanggu, Jl. Tentara
Pelajar No.12, RT.01/RW.07, Ciwaringin, Bogor
Tengah, Kota Bogor, Jawa Barat 16124

✉ brmp.sdlahan@pertanian.go.id

☎ (0251) 8323012, 0813-7727-7346; 📠 (021) 7800644

TIM REDAKSI

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

Editor

Ani Susilawati, S.P., M.Sc

Mety Maryanti, S.P

Yola Septiana Dewi, S.I.Kom

Desain Sampul & Penata Isi

Andriyan Priyatna, S.I.Kom

Arifin Al Amiri Maswar, S.E

